

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-274099

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

C23C 16/505

H01L 21/3065

H05H 1/46

(21)Application number : 2000-085281

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 24.03.2000

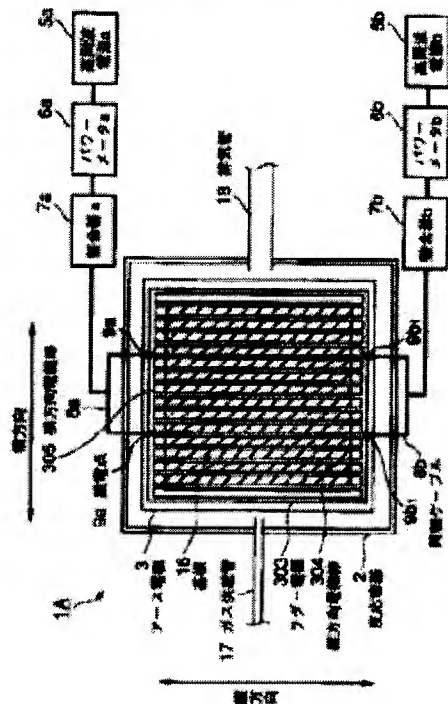
(72)Inventor : YAMAKOSHI HIDEO
SATAKE KOJI
TAKEUCHI YOSHIKI
MASHIMA HIROSHI
AOI TATSUFUMI
MURATA MASAYOSHI

(54) POWER SUPPLY METHOD TO DISCHARGE ELECTRODE, HIGH- FREQUENCY PLASMA GENERATION METHOD, AND SEMICONDUCTOR- MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a power supply method to a discharge electrode, a high-frequency plasma generation method, and a semiconductor thin-film manufacturing method that can generate a uniform plasma with large area, and perform uniform treatment to a large substrate or the like in a plasma CVD utilizing a very high frequency(VHF) or the like.

SOLUTION: In this power supply method to the discharge electrode for generating a discharge state based on high-frequency power that is fed to the discharge electrode, a high-frequency power supply where high frequencies with a different oscillation frequency are independent each other is used, and the generation of a standing wave is inhibited by difference in the frequency of each power supply.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]It is a power feeding method to a discharge electrode for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied by discharge electrode, A power feeding method to a discharge electrode supplying high frequency of different oscillating frequency using an RF generator which carries out mutually-independent, and controlling generating of a standing wave according to a difference of frequency of each power supply.

[Claim 2]A power feeding method to a discharge electrode making a difference of frequency between each RF generator into less than 20% of oscillating frequency of each RF generator in a method according to claim 1.

[Claim 3]A power feeding method to a discharge electrode controlling frequency of each RF generator by one set of an oscillator in a method according to claim 1 or 2.

[Claim 4]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and being two or an RF generator beyond it, and each frequency differing, or, A power feeding method to a discharge electrode characterized by arranging mutually two or more feeding points to a discharge electrode to a symmetric position in a power feeding method linked to a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs.

[Claim 5]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and each frequency differing, using two or an RF generator beyond it, or, In a power feeding method which connects with a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs, A power feeding method to a load electrode, a consistency machine which performs an impedance match of an RF generator, and a discharge electrode installing an isolator between the RF generators concerned, reducing incidence high-frequency power from other RF generators to the RF generator concerned, and protecting the power supply concerned.

[Claim 6]A power feeding method with which a difference of frequency of each RF generator is characterized by being less than 1% preferably less than 4% of an average of frequency in a method according to claim 5.

[Claim 7]In a power feeding method which is a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and connects with a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using two or an RF generator beyond it, A power feeding method to a discharge electrode restricting an output of RF generators other than the RF generator concerned, reducing incidence high-frequency power from other RF generators to the RF generator concerned, and protecting the RF generator concerned with a size of high-frequency power which enters into each RF generator from the discharge electrode side.

[Claim 8]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and each frequency differing, using two or an RF generator beyond it, or, A power feeding method to a discharge electrode combining high-frequency power from

two or more RF generators by a high frequency mixer, and supplying electric power to a discharge electrode in a power feeding method linked to a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs.

[Claim 9]A power feeding method to a discharge electrode changing distribution of voltage which it is a power feeding method to a discharge electrode for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and a voltage swing of the high-frequency power concerned is changed in time, namely, is produced in the discharge electrode concerned by carrying out AM.

[Claim 10]A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9, Or a power feeding method to a discharge electrode are shorter than a disappearance life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an activated molecule, or ion, and making or less into 1/2 preferably a cycle which is a reciprocal of AM frequency.

[Claim 11]Life $\tau: \tau^2 / (2D)$ of a SiH_3 activated molecule calculated from a lower type in a power feeding method any or given in one in a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM ***** among Claims 1-9

Here D with a diffusion coefficient $D=2.5 \times 10^3$ (cm^2 / second), A power feeding method to a discharge electrode, wherein Δx is shorter than distance (cm) from an electrode to a substrate, either which is a radical life 1.1×10^{-4} second 2 hydrogen atoms, or both and carries out to 1/2 or less preferably.

[Claim 12]A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9, Or a power feeding method to a discharge electrode are longer than a generating life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an activated molecule, or ion, and making into 4 or less times preferably a cycle which is a reciprocal of AM frequency more than twice 10 or less times.

[Claim 13]A power feeding method to a discharge electrode a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency being 1 millisecond or less preferably 1 or less second in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9.

[Claim 14]A power feeding method to a discharge electrode are longer than the discharge region residence time t of material gas calculated from a lower type, and making preferably into more than twice a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9.

$t^2(S-\Delta x)/Q$, however S are substrate areas (cm^2).

Δx is the distance (cm) from a discharge electrode to a substrate.

Q is a volumetric flow rate (cm^3 / second).

[Claim 15]A power feeding method to a discharge electrode characterized by a discharge electrode being a rudder type electrode or a mesh shape electrode in a power feeding method any or given in one among Claims 1-14 paragraphs.

[Claim 16]A power feeding method to a discharge electrode characterized by a discharge electrode being a parallel plate type electrode in a power feeding method any or given in one among Claims 1-14 paragraphs.

[Claim 17]A power feeding method to a discharge electrode characterized by supplying high-frequency power from an RF generator beyond two sets or it among Claims 1-16 paragraphs at an electrode which installs a substrate among discharge electrodes in a power feeding method any or given in one, and each of an electrode which does not install a substrate.

[Claim 18]A plasma generation method generating plasma with a power feeding method any or given in one among Claims 1-17.

[Claim 19]A semiconductor manufacturing method or a surface treatment method characterized by attaining distribution equalization of film production, etching, or a surface treatment by a plasma generation method according to claim 18.

[Claim 20]A plasma generation method making generating of an activated molecule within plasma

efficient by moving plasma to a Claims 1-17 paragraph spatially and in time with a power feeding method of a description.

[Claim 21]A semiconductor manufacturing method or a surface treatment method characterized by attaining improvement in the speed of film production, etching, or a surface treatment by a plasma generation method according to claim 18.

[Claim 22]A power feeding method, a plasma generation method, a semiconductor manufacturing method, or a surface treatment method in a range whose frequency of all the high frequency used for either of the Claims 1-21 paragraphs in a power feeding method of a description, a plasma generation method, or a semiconductor manufacturing method is 10-800 MHz.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]It is a power feeding method to a discharge electrode for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied by discharge electrode, A power feeding method to a discharge electrode supplying high frequency of different oscillating frequency using an RF generator which carries out mutually-independent, and controlling generating of a standing wave according to a difference of frequency of each power supply.

[Claim 2]A power feeding method to a discharge electrode making a difference of frequency between each RF generator into less than 20% of oscillating frequency of each RF generator in a method according to claim 1.

[Claim 3]A power feeding method to a discharge electrode controlling frequency of each RF generator by one set of an oscillator in a method according to claim 1 or 2.

[Claim 4]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and being two or an RF generator beyond it, and each frequency differing, or, A power feeding method to a discharge electrode characterized by arranging mutually two or more feeding points to a discharge electrode to a symmetric position in a power feeding method linked to a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs.

[Claim 5]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and each frequency differing, using two or an RF generator beyond it, or, In a power feeding method which connects with a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs, A power feeding method to a load electrode, a consistency machine which performs an impedance match of an RF generator, and a discharge electrode installing an isolator between the RF generators concerned, reducing incidence high-frequency power from other RF generators to the RF generator concerned, and protecting the power supply concerned.

[Claim 6]A power feeding method with which a difference of frequency of each RF generator is characterized by being less than 1% preferably less than 4% of an average of frequency in a method according to claim 5.

[Claim 7]In a power feeding method which is a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and connects with a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using two or an RF generator beyond it, A power feeding method to a discharge electrode restricting an output of RF generators other than the RF generator concerned, reducing incidence high-frequency power from other RF generators to the RF generator concerned, and protecting the RF generator concerned with a size of high-frequency power which enters into each RF generator from the discharge electrode side.

[Claim 8]it being a power feeding method for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and each frequency differing, using two or an RF generator beyond it, or, A power feeding method to a discharge electrode combining high-frequency power from

two or more RF generators by a high frequency mixer, and supplying electric power to a discharge electrode in a power feeding method linked to a discharge electrode beyond one or it in one discharge container using an RF generator from which a temporal change of each phase contrast differs.

[Claim 9]A power feeding method to a discharge electrode changing distribution of voltage which it is a power feeding method to a discharge electrode for generating a discharge state based on high-frequency power to which electric power was supplied, and a voltage swing of the high-frequency power concerned is changed in time, namely, is produced in the discharge electrode concerned by carrying out AM.

[Claim 10]A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9, Or a power feeding method to a discharge electrode are shorter than a disappearance life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an activated molecule, or ion, and making or less into 1/2 preferably a cycle which is a reciprocal of AM frequency.

[Claim 11]Life $\tau: \tau^2 / (2D)$ of a SiH_3 activated molecule calculated from a lower type in a power feeding method any or given in one in a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM ***** among Claims 1-9

Here D with a diffusion coefficient $D=2.5 \times 10^3$ ($\text{cm}^2 / \text{second}$), A power feeding method to a discharge electrode, wherein Δx is shorter than distance (cm) from an electrode to a substrate, either which is a radical life 1.1×10^{-4} second 2 hydrogen atoms, or both and carries out to 1/2 or less preferably.

[Claim 12]A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9, Or a power feeding method to a discharge electrode are longer than a generating life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an activated molecule, or ion, and making into 4 or less times preferably a cycle which is a reciprocal of AM frequency more than twice 10 or less times.

[Claim 13]A power feeding method to a discharge electrode a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency being 1 millisecond or less preferably 1 or less second in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9.

[Claim 14]A power feeding method to a discharge electrode are longer than the discharge region residence time t of material gas calculated from a lower type, and making preferably into more than twice a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency in a power feeding method any or given in one among Claims 1-9.

$t^2(S-\Delta x)/Q$, however S are substrate areas (cm^2).

Δx is the distance (cm) from a discharge electrode to a substrate.

Q is a volumetric flow rate ($\text{cm}^3 / \text{second}$).

[Claim 15]A power feeding method to a discharge electrode characterized by a discharge electrode being a rudder type electrode or a mesh shape electrode in a power feeding method any or given in one among Claims 1-14 paragraphs.

[Claim 16]A power feeding method to a discharge electrode characterized by a discharge electrode being a parallel plate type electrode in a power feeding method any or given in one among Claims 1-14 paragraphs.

[Claim 17]A power feeding method to a discharge electrode characterized by supplying high-frequency power from an RF generator beyond two sets or it among Claims 1-16 paragraphs at an electrode which installs a substrate among discharge electrodes in a power feeding method any or given in one, and each of an electrode which does not install a substrate.

[Claim 18]A plasma generation method generating plasma with a power feeding method any or given in one among Claims 1-17.

[Claim 19]A semiconductor manufacturing method or a surface treatment method characterized by attaining distribution equalization of film production, etching, or a surface treatment by a plasma generation method according to claim 18.

[Claim 20]A plasma generation method making generating of an activated molecule within plasma

efficient by moving plasma to a Claims 1-17 paragraph spatially and in time with a power feeding method of a description.

[Claim 21]A semiconductor manufacturing method or a surface treatment method characterized by attaining improvement in the speed of film production, etching, or a surface treatment by a plasma generation method according to claim 18.

[Claim 22]A power feeding method, a plasma generation method, a semiconductor manufacturing method, or a surface treatment method in a range whose frequency of all the high frequency used for either of the Claims 1-21 paragraphs in a power feeding method of a description, a plasma generation method, or a semiconductor manufacturing method is 10-800 MHz.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]The amorphous silicon by which this invention is used for a solar cell, a thin film transistor, etc., It is related with the power feeding method, the plasma generation method using this, and semiconductor manufacturing method to a discharge electrode of the high frequency plasma generator used for film production of semiconductors, such as microcrystal silicon, polycrystalline thin film silicon, and silicon nitride, and etching of semiconductor membrane. It can use also for various kinds of surface treatments using discharge.

[0002]

[Description of the Prior Art]As an example of the composition of the above-mentioned high frequency plasma generator, and the manufacturing method of the semiconductor using it, About the case where amorphous silicon semiconductor membrane (henceforth a-Si) is manufactured with a plasma-chemical-vapor-deposition device (henceforth a PCVD device), the example of representation in two the case where ** parallel plate type electrode is used, and at the time of using ** rudder electrode is given and explained.

[0003]Drawing 8 shows the example of 1 composition of the device using the parallel plate type electrode of ** very generally used for a-Si film production. The substrate heater 2 is installed in the reaction vessel 1, and it grounds electrically. It separates from the substrate heater 2 in the substrate heater 2 and the position which countered 20 mm, for example, and the plate electrode 3 is installed in it. External RF generator 4 is connected to the plate electrode 3 via the impedance matching box 5 and the coaxial cable 6. The earth shield 8 is installed in the plate electrode 3 so that unnecessary plasma may not generate to the substrate heater 2, the field which counters, and an opposite hand.

[0004]a-Si film production is performed in the following procedures. First, for example, the substrate 16 which produces a-Si thin film is installed on the substrate heater 2 set as 200 **. SiH_4 gas is introduced for example, by rate-of-flow 50sccm from the gas supply line 17, and the pressure in the reaction vessel 1 is adjusted for example, to 100mTorr by adjusting the exhaust speed of a vacuum pump system linked to the evacuation pipe 18 which is not illustrated. High-frequency power is supplied and plasma is generated between the substrate 16 and the plate electrode 3. The impedance matching box 5 is adjusted so that high-frequency power may be efficiently supplied to a plasma generating part. In the plasma 19, SiH_4 decomposes and a-S ** is produced by the substrate 16 surface. for example, a for [10 minutes] grade -- a-Si film of required thickness is produced by producing a film in this state.

[0005]Drawing 9 shows the example of 1 composition of the device which used the rudder electrode 303 of **. About the rudder electrode, details are reported to JP,H4-236781,A. Drawing 10 is the figure drawn from the direction of A of drawing 9 so that the structure of the rudder electrode 303 might be known well. Although the electrode of the mesh shape which two electrode groups which put two or more pole bolts in order in parallel like a rudder electrode as electrode shape into which the rudder electrode was developed were made to go direct, and was arranged is reported to JP,H11-111622,A,

This is also considered to be a kind of a rudder electrode and can be used similarly.

[0006]The substrate heater 2 (not shown to drawing 10) is installed in the reaction vessel 1, and it grounds electrically. It separates from the substrate heater 2 in the substrate heater 2 and the position which countered 20 mm, for example, and the rudder electrode 303 is installed in it. External RF generator 4 is connected to the rudder electrode 303 via the impedance matching box 5 and the coaxial cable 6. The earth shield 308 is installed in the rudder electrode 303 so that unnecessary plasma may not generate to the substrate heater 2, the field which counters, and an opposite hand.

[0007]a-Si film production is performed in the following procedures. First, for example, the substrate 16 which produces a-Si film is installed on the substrate heater 2 set as 200 **. SiH_4 gas is introduced for example, by rate-of-flow 50sccm from the gas supply line 17, and the pressure in the reaction vessel 1 is adjusted for example, to 100mTorr by adjusting the exhaust speed of a vacuum pump system linked to the evacuation pipe 18 which is not illustrated. High-frequency power is supplied and plasma is generated between the substrate 16 and the rudder electrode 303. The impedance matching box 5 is adjusted so that high-frequency power may be efficiently supplied to plasma 319 generating part. In the plasma 319, SiH_4 decomposes and a-Si film is produced by the substrate 16. For example, a-Si film of ***** thickness is produced by producing a film in this state about 10 minutes.

[0008]This example of composition has the following features of two points as compared with the example of composition of drawing 8. The first feature is using the electrode called the rudder type which constructed ***** of the circular section to the ladder form, not using a plate electrode as an electrode. Since the SiH_4 gas of a raw material flows freely between pole bolts, this electrode has the feature that feeding is performed uniformly. The second feature is having gone to two or more (here four points) parts rather than having supplied electric power to one place of an electrode.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]Now, quality improvement of low-cost-izing according [thin film transistors for the thin film semiconductor for solar cells and flat-panel displays produced using the above-mentioned art] to high-speed film production and low defect density, a high crystallization rate, etc. is called for. The new plasma production methods which fill these demands include high high frequency-ization (30-800 MHz) of an RF generator. It is describing that improvement in the speed and quality improvement of film production speed are compatible by high frequency-ization document Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, pp.9, and 1997, for example. It turns out these days that this high high frequency is suitable for high-speed quality film production of the micro crystallite Si thin film which attracts attention as a new thin film which replaces a-Si especially.

[0010]However, there is a fault that uniform large area film production is difficult for the film production by this high high frequency. This from the wavelength of high high frequency being an order comparable as electrode size. It is because plasma becomes uneven by generating of the electrode top standing wave which makes the main factor the reflected wave produced in an electrode end etc., the influence on the distribution of voltage by existence of floating inductance, the mutual interference of plasma and high frequency, etc. and a result and film production become uneven.

[0011]** In the above-mentioned example of composition quoted as an example of representation at the time of using parallel plate electrodes, if electrode size exceeds 30 cm x 30 cm or frequency exceeds 30 MHz, the influence of the above-mentioned standing wave will become remarkable, and achievement of **10% of indispensable film production thickness uniformity will become difficult on semiconductor film production.

[0012]Drawing 11 is one example of the distribution of voltage by the standing wave in 100 MHz. Ion saturation current distribution is also simultaneously shown in drawing 11. Since ion saturation current distribution is almost equal to electron density distribution and Measurement Division is easy, generally it is used as an index of plasma distribution. It turns out that the standing wave will have arisen on the electrode if distribution of voltage is seen, and ion saturation current distribution, i.e., plasma distribution, is uneven corresponding to it.

[0013]In addition to using the rudder electrode, drawing 9 raised on the other hand as an example of

representation at the time of using ** rudder electrode and drawing 10 reduced the standing wave produced notably by supplying electric power to four points by one-point electric supply. However, if electrode size exceeds 30 cm or frequency exceeds 80 MHz even in this case, realization of uniform film production will become difficult.

[0014]The distribution of voltage produced on a rudder electrode when four points supply electric power to drawing 12 at 60 MHz and 100 MHz is shown. Although 60 MHz shows comparatively uniform distribution of voltage, in 100 MHz, it is uneven. The feeding point position of four points needs to find an optimal position by trial and error, and requires time and effort dramatically. When film production conditions, such as gas pressure and high-frequency power, are changed, there is a problem that an optimal position will change.

[0015]As the above problems attract attention also at a society and being described document Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, pp.27, and 1995 until now, Connecting the reactance (coil) which does not have a loss in an opposite hand the electric supply side of a parallel plate is proposed. This is changing the reflective conditions from the electrode end of a standing wave, and distribution generates a comparatively even portion, for example, near the maximum of a sine wave, on an electrode in the waveform of a standing wave, and it lessens distribution of voltage produced in an electrode. However, since this method does not lose a standing wave from the origin but an even portion only generates it on an electrode among sine waves, it is to about [of wavelength] $1/8$ that a uniform portion is obtained, and equalization of the range exceeding it is theoretically impossible. 100 MHz shows distribution of voltage when the termination of the end of a parallel plate is carried out by a reactance (coil) without a loss to drawing 13. Thus, although about 30 cm is uniform from a termination end, it is uneven more and this portion cannot be used for film production.

[0016]As mentioned above, in the plasma generation using high high frequency, by a Prior art, uniform plasma was generated in the large area for a very big substrate which exceeds 1 m x 1 m, and uniform processing was not able to be performed.

[0017]in addition -- as the analogous art of this invention -- two -- things -- to two discharge electrodes, there is the art supplied, respectively high frequency and it, For example, M. Noisan, J. Pelletier, ed., "Microwave Excited Plasmas", It is explained by Technology, 4, second impression, pp.401, and Elsevier Science B.V.1999 in full detail.

[0018]However, the purpose of this art one high frequency for plasma production, Use the high frequency of another side for control of the surface bias voltage of an insulating substrate, and are controlling the inflow and incidence energy of active ion etc. to a substrate, and it is aimed at a very big substrate which exceeds 1 m x 1 m of this invention, Uniform plasma is generated in a large area and it completely differs from the purpose of performing uniform processing.

[0019]This invention was made in order to solve an aforementioned problem, and it is ****. In the plasma CVD using (VHF), the purpose is to provide the power feeding method, high frequency plasma production device, and semiconductor membrane manufacturing method to the discharge electrode which can make uniform plasma able to generate with a large area for a big substrate, and can perform uniform processing.

[0020]

[Means for Solving the Problem]The 1st of an invention of a high frequency discharge electrode which solves said SUBJECT is devised that uniform film production should be carried out also to a substrate of very big size over 1 m x 1 m by losing theoretically generating of a standing wave produced on an electrode in consideration of such a situation, and making distribution of voltage uniform.

[0021]As an uneven generation cause of plasma density in high high frequency, as mentioned above, although generating of an electrode top standing wave, influence on distribution of voltage by existence of floating inductance, mutual interference of plasma and high frequency, etc. have been considered, As a result of artificers' examining this wholeheartedly, as described in Object of the Invention, it found out that standing wave generating on an electrode was the main factor. Then, it considered supplying two frequency to an electrode and producing peat as a means to lose generating of a standing wave

theoretically.

[0022]Below, in order to make it intelligible, it simplifies and explains. Namely, simplify to one dimension and a case where two frequency is supplied from both ends of one electrode is considered, If decay of waves of each high frequency can be disregarded, and each amplitude of an acoustic phase coefficient is equal at 1 and reflection by an electrode end can ignore small, a wave of high frequency supplied from both ends is given by the lower formula (1) and (2), respectively.

$$[0023]\phi_1 = \cos(\omega_1 t - k_1 z) \dots (1)$$

$$\phi_2 = \cos(\omega_2 t + k_2 z) \dots (2)$$

Here, as for angular frequency (rad/s) of each wave, and k , (s), time, and z of a wave number (rad/m) and t are [ω] positions (m).

[0024]The wave number k is expressed like a following formula (3) using the phase velocity v (m/s) and angular-frequency ω .

$$[0025]k_1 = \omega_1 / v_1 \text{ and } k_2 = \omega_2 / v_2 \dots (3)$$

The distribution of voltage ϕ on an electrode is expressed, peace (4), i.e., a lower type, of these waves.

[0026]

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = \cos(\omega_1 t - k_1 z) + \cos(\omega_2 t + k_2 z) = 2\cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z) \cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z) \dots (4)$$

$\omega_{ave} = (\omega_1 + \omega_2) / 2$, and $\omega_{mod} = (\omega_1 - \omega_2) / 2$, $k_{ave} = (k_1 + k_2) / 2$, and $k_{mod} = (k_1 - k_2) / 2$ -- first, [however,] In $\omega_1 = \omega_2$ (i.e., when high frequency of the same frequency is supplied from both ends), it thinks. This corresponds, when high-frequency power is distributed to two and supplied, for example from a single power supply, or when two or more RF generators are synchronized by high frequency from a single oscillator, it operates and the output is supplied. In this case, the distribution of voltage ϕ is expressed with a lower type (5).

[0027]

$$\phi = 2\cos(\omega_1 t) \cos(-\omega_1 / v_1 - z) \dots (5)$$

An upper type (5) shows that the carrier wave $\cos(\omega_1 t)$ of angular-frequency ω_1 and a standing wave which consists of the envelope $\cos(-\omega_1 / v_1 - z)$ arise.

[0028]On the other hand, in $\omega_1 \neq \omega_2$ from which frequency is different, the distribution of voltage ϕ is searched for by a lower formula (6).

[0029]

$$\phi = 2\cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z) \cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z) \dots (6)$$

The carrier wave $\cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z)$ of angular-frequency ω_{ave} [from an upper type (6)] ,

Becoming the modulated wave $\cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z)$ of angular-frequency ω_{mod} generally called a "beat" or a "beat", a modulated wave moves spatially and does not turn into a standing wave.

[0030]Based on this principle, this invention by supplying high frequency of different frequency beyond two or it to an electrode, Obtaining high-speed quality film production using high high frequency, very much, also with the device for big board size which exceeds 1 m x 1 m, for example, generating of a standing wave in an electrode is suppressed and a power feeding method to a discharge electrode which enables uniform plasma and uniform processing is provided.

[0031]The second of this invention provides a method of power supply protection required in order to supply high frequency to an electrode from a power supply beyond two or it.

[0032]A method of raising processing efficiency by making it a cycle to which an activated molecule in plasma required for the plasma treatment, etc. generate efficiently a cycle of the third plasma generation of this invention is provided.

[0033]A method of equalizing reduction of particle, improvement in membraneous quality, and film

pressure distribution is provided by making a cycle of the fourth plasma generation of this invention into a cycle effective for discharge from control of generating of particle, or a discharge region of particle.

[0034]Hereafter, details are explained for every claim.

[0035]An invention of a power feeding method to a high frequency discharge electrode of Claim 1 which solves said SUBJECT aims to acquire an effect from using two sets of independent RF generators as a concrete means to supply two frequency ($\omega_1 \neq \omega_2$) to an electrode. Usually, for example, when two 60-MHz power supplies are prepared, usually because of accuracy of an oscillator built in each, there is a difference in frequency of about hundreds of kHz. Therefore, $\omega_1 \neq \omega_2$ can be automatically realized by this difference, generating of a standing wave can be controlled, and solution of SUBJECT can be aimed at by a very easy system.

[0036]Claim 2 enlarges a difference of frequency between each RF generator not much, and it makes a difference of frequency less than 20% in order to prevent this, since performance of film production or etching will fall remarkably from performance of optimal frequency if frequency of one of the two shifts from optimal frequency greatly.

[0037]In an entire independent power supply, since a difference of frequency may not be stabilized but a problem may arise in reproducibility, Claim 3 aims at securing reproducibility by controlling this to constant value.

[0038]In controlling a standing wave using two or more power supplies, the aforementioned one-dimensional modeling needs to be applied, but Claim 4 arranges mutually two or more feeding points to a discharge electrode to a symmetric position as one concrete condition.

[0039]When Claim 5 controls a standing wave using two or more power supplies, high frequency from which frequency and a phase are different from other power supplies to the power supply concerned enters, Between a load electrode, a consistency machine which performs an impedance match of an RF generator, and this cough RF generator for the purpose of preventing the power supply concerned from receiving damage, An isolator is installed, incidence high-frequency power from other RF generators to the RF generator concerned is reduced, and the power supply concerned is protected.

[0040]In Claim 5, frequency bandwidth of an isolator which can actually be manufactured easily Claim 6, In 1 kW or less of high-frequency power, it is about 4%, and since it is about 1% in about 2 kW of high-frequency power, a system construction in within the limits of this is considered, and it is characterized by being less than 1% preferably less than 4% of an average of a difference of frequency of each RF generator of frequency.

[0041]When Claim 7 controls a standing wave using two or more power supplies, high frequency from which frequency and a phase are different from other power supplies to the power supply concerned enters, That the power supply concerned receives damage with a size of high-frequency power which enters into each RF generator from the discharge electrode side for the purpose of preventing. Restrict an output of RF generators other than the RF generator concerned, and incidence high-frequency power from other RF generators to this cough RF generator is reduced, In controlling a standing wave using two or more power supplies, Claim 8 which is a thing protecting the RF generator concerned by supplying high frequency of two or more frequency from the one feeding point, High-frequency power from two or more RF generators is combined by a high frequency mixer for the purpose of building a system cheaply compared with a case where it supplies, from the separate feeding point, and electric power is supplied to a discharge electrode.

[0042]Claim 9 changes distribution of voltage produced in the discharge electrode concerned by changing a voltage swing of high-frequency power in time, namely, carrying out AM as means with another using two frequency as a means to control a standing wave.

[0043]Since plasma will become a form which repeats ON/OFF and will have an adverse effect on results, such as film production quality, if cycle of Claim 10 is late in a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-9, A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency as conditions required in order to prevent this, and to continue a state of ON in false, Or it is shorter than a disappearance life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an

activated molecule, or ion, and a cycle which is a reciprocal of AM frequency is preferably made or less into 1/2.

[0044] Since plasma will become a form which repeats ON/OFF and will have an adverse effect on results, such as film production quality, if cycle of Claim 11 is late in a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-9, A cycle which is a reciprocal of a difference of frequency as conditions required in order to prevent this, and to continue a state of ON in false, Or life $\tau: \tau^{**}(\Delta x)^2$ [of a SiH_3 activated molecule concretely called for from a lower type (7) for silicon thin film film production using Silang in a cycle which is a reciprocal of AM frequency $1/(2D)$ -- (7)

Here D with a diffusion coefficient $D=2.5 \times 10^3 \text{ (cm}^2\text{s}^{-1}\text{)}$, Δx is shorter than distance (cm) from an electrode to a substrate, either which is a radical life 1.1×10^{-4} second 2 hydrogen atoms, or both, and carries out to 1/2 or less preferably.

[0045] In a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-9 Claim 12, It is aimed at application which an activity atom, an activated molecule, or ion in plasma begins to generate in OFF time after a plasma generation, for example, application to etching etc., Make a cycle late purposely, make OFF time of plasma intentionally, and sufficient OFF time to be generated by an activity atom, an activated molecule, or ion in plasma is held, And as conditions which generate the activity atom concerned, an activated molecule, or ion efficiently by generating the following plasma and turning off again before activity original hands, activated molecules, or ion in the plasma decrease in number, It is longer than a generating life of an activity atom in plasma generated with the discharge electrode concerned, an activated molecule, or ion, and a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency is preferably made into 4 or less times more than twice 10 or less times.

[0046] Claim 13 aims at reduction of particle in a power feeding method any or given in one by a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency being 1 millisecond or less preferably 1 or less second among Claims 1-9.

[0047] In a power feeding method any or given in one among Claims 1-9 Claim 14, Reduction of particle is aimed at by being longer than the discharge region residence time t of material gas calculated from a lower type (8), and making preferably into more than twice a cycle which is a reciprocal of a difference of frequency, or a cycle which is a reciprocal of AM frequency.

[0048] $t^{**}(S-\Delta x)/Q$ -- (8)

However, S is a substrate area (cm^2).

Δx is the distance (cm) from a discharge electrode to a substrate.

Q is a volumetric flow rate ($\text{cm}^3 / \text{second}$).

Claim 15 is characterized by a discharge electrode being a rudder type electrode as one concrete condition that the aforementioned one-dimensional modeling is realized simply in a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-14.

[0049] Claim 16 is characterized by a discharge electrode being a parallel plate type electrode as a method generally used for any 1 paragraph of Claims 1-14 in a power feeding method of a description.

[0050] In a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-16 Claim 17, An electrode which installs a substrate among discharge electrodes for the purpose of supplying high-frequency power for being one of the 2 frequency for securing homogeneity, and adjusting incidence energy of ion to a substrate to a substrate lateral electrode, High-frequency power is supplied to each of an electrode which does not install a substrate from an RF generator beyond two sets or it.

[0051] Claim 18 is the plasma generation method characterized by generating plasma with a power feeding method given in any 1 paragraph of Claims 1-17.

[0052] Claim 19 is a semiconductor manufacturing method or a surface treatment method characterized by attaining film production of a semiconductor, or distribution equalization of etching by a plasma generation method according to claim 18.

[0053] Claim 20 is the plasma generation method making generating of an activated molecule within

plasma efficient by moving plasma spatially and in time with the power feeding method according to claim 1 to 17.

[0054]Claim 21 is a semiconductor manufacturing method characterized by attaining film production of a semiconductor, or improvement in the speed of etching by a plasma generation method according to claim 18.

[0055]In a power feeding method, a plasma generation method, a semiconductor manufacturing method, or a surface treatment method given in either of the Claims 1-21 paragraphs Claim 22, It is a power feeding method, a plasma generation method, a semiconductor manufacturing method, or a surface treatment method in a range whose frequency of all the high frequency to be used is 10-800 MHz.

[0056]

[Embodiment of the Invention]Hereafter, various desirable embodiments of this invention are described with reference to attached Drawings.

[0057](A 1st embodiment) The high frequency plasma production device concerning a 1st embodiment of this invention is explained, referring to drawing 1. The device 1A is a high frequency plasma production device used in order to produce Si semiconductor membrane for solar cells, and is provided with the rudder electrode 303 and the ground electrode 3 as a discharge electrode in the reaction vessel 2. The reaction vessel 2 is built airtightly and the gas supply line 17 and the exhaust pipe 18 are carrying out the opening to the proper place, respectively. The gas supply line 17 is open for free passage to the gas supply source which is not illustrated, and the gas for film production is introduced in the reaction vessel 17 through this. The exhaust pipe 18 is open for free passage to the vacuum pump's which is not illustrated suction side. Incidentally evacuation of the internal pressure of the reaction vessel 2 can be carried out now to a 1×10^{-6} Torr grade with a vacuum pump.

[0058]Facing arrangement of the ground electrode 3 and the rudder electrode 303 is carried out with the predetermined interval (for example, 20-mm interval). The ground electrode 3 is provided with the mechanism (not shown) for holding the glass substrate 16 as a processed object, and contains the heater (not shown) for heating the substrate 16. The ground electrode 3 is made into 2.1 m x 2.1-m angular size when the processed boards 16 are 2.0 m x 2.0-m angular size, and it is grounded. As for the gas diffuser of the gas supply line 17, it is more desirable than the rudder electrode 303 to carry out the opening behind, and it is preferred that gas is supplied in parallel from two or more parts.

[0059]The rudder electrode 303 comes to assemble two or more parallel lengthwise direction pole bolts 304 and the transverse direction pole bolt 305 of a couple in the shape of a lattice, and facing arrangement is carried out in parallel with the substrate 16 held with the ground electrode 3.

[0060]The four feeding points 9a and 9b₁ are provided in the rudder electrode 303. Among these, the 1st two feeding point 9a is formed in one transverse direction pole bolt 305, and two 2nd feeding point 9b₁ is provided in the transverse direction pole bolt 305 of another side. Each feeding point 9a and 9b₁ are located in the place which divides the transverse direction pole bolt 305 into about three equally, respectively.

[0061]The consistency machine 7a, the power meter 6a, and 1st RF generator 5a are connected to this order via the coaxial cable 8a which branches at the 1st two feeding point 9a. 1st RF generator 5a builds in the high-frequency oscillator which oscillates high high frequency (VHF) with a frequency of 60.0 MHz, and high high frequency (VHF) power with a frequency of 60.0 MHz is supplied to the rudder electrode 303 via the 1st two feeding point 9a. The coaxial cable 8a by the side of an electrode branched using the T junction plug from the consistency machine 7a.

[0062]On the other hand, the consistency machine 7b, the power meter 6b, and 2nd RF generator 5b are connected to this order via the coaxial cable 8b which branches to the 2nd feeding point 9b₁. 2nd RF generator 5b is independently from 1st RF generator 5a, and the high-frequency oscillator which oscillates high high frequency (VHF) with a frequency of 60.3 MHz is built in, High high frequency (VHF) power with a frequency of 60.3 MHz is supplied to the rudder electrode 303 via two 2nd feeding point 9b₁. The coaxial cable 8b by the side of an electrode branched using the T junction plug from the

consistency machine 7b.

[0063]When supplying the high high frequency (VHF) of mutually different frequency via the feeding point 9a and 9b₁ which counter in this way to the rudder electrode 303, the difference (this example 0.3 MHz) of the frequency between two high high frequency (VHF) is important. The effect is mentioned later.

[0064]It was made for one-dimensional distribution of voltage to arise in each of the lengthwise direction pole bolt 304 in this example by arranging the feeding point 9a and 9b₁ in the symmetrical position which makes the center of the whole electrode the middle point at each on two transverse direction ***** 305 which the rudder electrode 303 counters. While the phenomenon of moving the standing wave which this mentions later at high speed was seen and plasma production distribution of the lengthwise direction on each lengthwise direction pole bolt 304 became uniform, plasma production distribution between each lengthwise direction pole bolt 304 (lateral plasma distribution) was also able to be made uniform.

[0065]About plasma production distribution of the latter transverse direction, equalization of plasma production distribution can be further attained by making it increase the number of the feeding points each from every two upper and lower sides (four totals) further with four upper and lower sides each (eight totals) and eight upper and lower sides (16 totals).

[0066]Although electric power is supplied from the feeding point of every two upper and lower sides from the two power supplies 5a and 5b in this example, respectively, equalization of plasma production distribution can be further attained by increasing the number of power supplies. For example, it is possible to raise the homogeneity of plasma production distribution further by supplying the high high frequency (VHF) power of frequency which is different from four power supplies to each of the four feeding points, respectively.

[0067]Drawing 2 is an ultimate-lines figure showing the result of having measured the luminescence intensity of the plasma which took the position (arbitrary value) on a rudder electrode along the horizontal axis, took luminescence intensity (arbitrary value) along the vertical axis, and was generated using the device 1A of this example with the CCD camera. The place out of which the value low three places has come by the inside of the size of a substrate in the figure hits the part which becomes a shadow of a lengthwise direction pole bolt from on the structure of a device and in which plasma is not in sight, and is unrelated to actual luminous intensity distributions. In the generation of high high frequency plasma which used the device 1A, the thing of 2 m x a 2-m angle for which **7% (127/of peak price minimum 111) of the homogeneity of emission distribution, i.e., plasma distribution, can be attained very much in a big area range became clear so that clearly from this figure.

[0068]This is considered to be a sake by 0.3 MHz of delta frequencies of RF generator 1 and RF generator 2, i.e., the "beat" by 300 kHz, that the standing wave was able to be prevented from standing on an electrode. Or it can also be interpreted as the ability of the standing wave to have been moved at high speed by 300,000 waves in 1 second. That is, if it sees in a very short moment, standing wave distribution has arisen, but since this is moving at high speed, if it sees with a time average, it will be thought that it is uniform distribution.

[0069]on the other hand, the speed to which a standing wave is moved should become quick, so that this delta frequency is large -- although it comes out -- high high frequency -- in order to acquire the film production speed and film production quality which employed the original characteristic efficiently, it is not preferred to use frequency which is different not less than 20% from the frequency of high high frequency required in order to acquire film production speed and film production quality. As for the difference of frequency, in order for the consistency machine used for the prevention from incidence to the power supply of high-frequency power to function, it is still more preferred that it is less than 1%. In this example, from the difference of frequency being about 0.5%, film production speed quality was good, and incidence of the high frequency to a power supply was also able to be suppressed to the about [100W] low value so that it might mention later.

[0070]Next, a-Si film production and micro crystallite Si film production were performed in the

following procedures.

[0071]First, for example, the substrate 16 of 2 m x 2-m angular size which produce a Si thin film was laid on the substrate heater 3 set as 200 °C. SiH₄ gas was introduced for example, by rate-of-flow 2000sccm from the gas supply line 17, and, in micro crystallite Si film production, in addition to SiH₄ gas, about 50000 sccm of hydrogen gas was poured further, for example. The pressure in the reaction vessel 1 was adjusted for example, to 200mTorr by adjusting the exhaust speed of a vacuum pump system linked to an evacuation pipe which is not illustrated.

[0072]While supplying high high frequency (VHF) electric power with a frequency of 60.0 MHz from 1st RF generator 5a, adjusting the 1st and 2nd consistency machines 7a and 7b, respectively so that high-frequency power may be efficiently supplied to plasma, When high high frequency (VHF) electric power with a frequency of 60.3 MHz is supplied and the power from both the power supplies 5a and 5b was totaled, high high frequency (VHF) electric power was supplied so that it might be set to 3000W, and plasma was made to generate between the substrate 16 and the rudder electrode 303 from 2nd RF generator 5b. In plasma, SiH₄ decomposed and a-Si film and the micro crystallite Si film were produced by the substrate face. for example, a for [10 minutes] grade -- the film of required thickness was produced by producing a film in this state. The thickness distribution of the produced sample is measured, a feeding point position is tuned finely, and the optimal distribution was acquired. The high speed on for example, micro crystallite film production and of 1.0nm/second in film production speed was obtained, and homogeneity is ±10% and attained the homogeneity needed with the Si-thin-film semiconductor for solar cells.

[0073]When the membranous quality of the made film was measured, it is high quality that the Raman peak ratio exceeds 9:1, for example etc., in addition a refractive index, the spectral characteristic, defect density, etc. hardly changed to the case where a film is produced using the same 60 MHz with a small sample (5 cm x about 5 cm), similarly.

[0074]Since ON/OFF is repeated 300,000 times x twice in 1 second after this having enough quick ON/OFF of the plasma produced by high-speed movement of a standing wave, namely, a delta frequency being 300 kHz, 1 time of OFF time becomes below a 2×10^{-6} second, and is a disappearance life ($\tau = (2 \text{ (cm)})^2 / (2 \times 2.5 \times 10^3 \text{ (cm}^2 \text{ / second)}) = 8 \times 10^{-4} \text{ second}$) (it is short enough and) of a SiH₃ activated molecule. And since it is shorter than the disappearance life 1.1×10^{-4} second of a hydrogen atom radical enough, it thinks because ON/OFF of plasma can be substantially disregarded now in a film production phenomenon.

[0075]Furthermore it was obtained by this example, another effect is that there is dramatically little particle generated in the case of film production. This as indicated to the prior art reference (Yukio Watanabe, Shoji Shiraishi, "silane gas decomposition by high-frequency-modulation discharge", discharge research No.138, P27-36, 1992), If ON time will be 1 or less second, growth of particle will be controlled, and if 1 kHz or more, i.e., ON time, will be [ON/OFF frequency] 1 millisecond or less preferably, it will be thought that it originates in particle hardly occurring substantially. That is, by this invention method, since ON time is carried out below the 2×10^{-6} second, it can be guessed that particle is in the state where it hardly generates.

[0076]Although detailed explanation and graphic display are omitted, they can discharge particle, they being able to lengthen OFF time conversely and fully being able to spend many hours on discharge of particle, and can also prevent the increase. That is, the substrate area S will substitute these figures for a lower type (8), when $200 \times 200 \text{ cm}^2$ and distance Δx from a discharge electrode to a substrate are 2 cm and the volumetric flow rate Q is a processing condition of $4 \times 10^5 \text{ cm}^3 \text{ / second}$, and the discharge region residence time t of material gas will be 0.2 second. Therefore, by making OFF time more than into time longer than this time t, i.e., 0.2 second, preferably at 0.4 seconds or more, twice, particle was discharged from the plasma production field and it has also checked that the increase in the particle within a reaction vessel was controlled.

[0077] $t^{**}(S-\Delta x)/Q \rightarrow (8)$

When the electrode of the mesh shape reported to JP,H11-111622,A which is a kind of a rudder electrode was used, optimization of the feeding point position took time and effort, but [although this example showed the case where a rudder electrode was used for an electrode, instead] 10% of homogeneity was able to be obtained too. Also when parallel plate electrodes were used, time was further taken in trial and error of optimization of the feeding point, but 12% of homogeneity could be obtained and the homogeneity of there there was obtained, without using a complicated electrode like a rudder electrode.

[0078] Although this example showed the case of the frequency near 60 MHz, it checked that there was an effect that it is the same also near 20 MHz and near 200 MHz.

[0079] (A 2nd embodiment) The device concerning a 2nd embodiment of this invention is explained, referring to drawing 3. Drawing 3 is a figure showing the feeder circuit of the device 1B concerning a 2nd embodiment that added change to the high high frequency (VHF) feeder circuit of the device 1A of a 1st embodiment shown in drawing 1. There is an advantage that the operating condition range is expandable rather than the device 1A of a 1st embodiment of the above with the device 1B of this embodiment by change of this feeder circuit. It is what also used this example for performing uniform film production by the high high frequency to the substrate of 2 m x 2-m angular size, and since the composition in reaction vessels other than an electrical power system etc. is the same as that of a 1st embodiment, explanation of the point that both are common is omitted.

[0080] The point that the device 1B of this embodiment differs from the device 1A of a 1st embodiment is five points of ** of the following - **.

[0081] ** Two frequency from which the crystal oscillator built in each RF generator 5a and 5b with the device 1A of a 1st embodiment of the above differs about the oscillating frequency of an RF generator using an uncertain thing was generated. On the other hand, in the device 1B of this embodiment, the delta frequency is controlled by 2 wave signal generator 20 to constant value. In the former (device 1A), when it is two combination which cannot choose a delta frequency arbitrarily, therefore has only 10 Hz of delta frequencies, for example, a standing wave will move only at 10 Hz, but plasma will turn it on and off the cycle, and it will give ***** to film production. There is a possibility that an oscillating frequency difference may not be stabilized in time, but reproducibility may become low as a result. On the other hand, in the latter (device 1B), it can fix to the optimal delta frequency and can operate.

[0082] ** In the device 1A of a 1st embodiment, the protection circuit (not shown) of each RF generator 5a and 5b was also independent. On the other hand, with the device 1B of this embodiment, when it has only the one protection circuit 22, the incident power to each power supply 5a and 5b was measured by power meter 6a₁ and 6b₂ and either of the size exceeded the limit value, the output of both power

supplies was restricted. When the incident power (sum of reflection electric power and the incident power from the 2nd power supply 5b) to the 1st power supply 5a has become large exceeding the permissible dose of the 1st power supply 5a by a certain cause, for example in the case of the former (device 1A), the protection circuit of the 1st power supply 5a serves to suppress the output of the 1st power supply 5a, but. The superfluous incidence from the 2nd power supply 5b is not suppressed at all, but since it is in a state as it is, when the worst, the 1st power supply 5a may receive damage.

[0083] On the other hand, if the same phenomenon as the latter (device 1B) happens, the protection circuit 22 works by the superfluous input to the 1st power supply 5a, and since an output is suppressed and the incident power to the 1st power supply 5a is stopped, the 1st power supply 5a will not damage the 1st and 2nd power supplies 5a and 5b. If the cause of the superfluous input from the 2nd power supply 5b is removed by performing adjustment of the consistency machine 7b etc. where incident power is stopped, the output of both the power supplies 5a and 5b can be raised again, and desired electric power can be supplied.

[0084] Since the isolators 24a and 24b are inserted in the 1st and 2nd feeder circuits in this embodiment, respectively and fault electric power is kept from usually entering into the power supplies 5a and 5b, a protection circuit in particular is unnecessary. However, when it seems that reflection electric power

exceeds the tolerance power of the isolators 24a and 24b, and the isolators 24a and 24b have stopped operating, the protected operation by this protection circuit 22 is needed. ** A means to control the electric power (sum of reflection electric power and the incident power from the 2nd power supply 5b) which enters into the 1st power supply 5a in the device 1A of a 1st embodiment was only the consistency machine 7a. On the other hand, with the device 1B of this embodiment, it has composition which loses the electric power which enters into the power supplies 5a and 5b from the electrode 303 side by inserting the isolators 24a and 24b which consist of a circulator and load.

[0085]Even if the output of the 1st power supply 5a is thoroughly made as for the electric power reflected from the electrode 303 to zero with the consistency machine 7a in the former (device 1A), Since the electric power which enters into the 1st power supply 5a through the electrode 303 and the consistency machine 7a, other the power supply 5b, i.e., 2nd power supply, differs in a phase or frequency, it cannot be simultaneously made into zero. Therefore, when this electric power is large (the electric power which escapes from the electrode 303 according to the generation state of plasma, etc.) The big electric power to the 1st power supply 5a which becomes large, becomes small or is changed enters, the state of the 1st power supply 5a is made unstable, and when the worst, the 1st power supply 5a may break by a superfluous input. When there is no plasma load before plasma generates especially, it is easy to become such a situation.

[0086]On the other hand, since the isolators 24a and 24b are inserted in the latter (device 1B) feeder circuit, incidence to the power supplies 5a and 5b can be altogether absorbed by load, and destruction of the power supplies 5a and 5b by a superfluous input is prevented.

[0087]When using the isolators 24a and 24b, the frequency bandwidth of the isolator which makes rated value high-frequency power of a kilowatt class like especially this example is dramatically narrow. That is, the frequency bandwidth in 1 kW or less of high-frequency power is about 4% of using frequency, and since it in about 2 kW of high-frequency power is about 1%, it needs to suppress the difference of the frequency of the 1st power supply 5a and the 2nd power supply 5b to these values. Since the oscillating frequency of the 1st power supply 5a was set as 60.2 MHz in this embodiment and the oscillating frequency of the 2nd power supply 5b was set as 59.8 MHz, the difference of the oscillating frequency of both the power supplies 5a and 5b was stored in less than 0.6 MHz equivalent to 1% of the frequency bandwidth in the case of 2-kW rating.

[0088]** Although the one power meter 6a and 6b was formed in each (a total of two sets) one line in the device 1A of a 1st embodiment, two power meter 6a₁, 6a₂, 6b₁, and 6b₂ were provided in each one line with the device 1B of this embodiment to this (a total of four sets). Since the isolators 24a and 24b were inserted in the feeder circuit, no matter it may usually be in what matching states, the reflection electric power in incident power, i.e., power meter 6a₁ to power supplies 5a and 5b and 6a₂ is zero. Then, it is because it is necessary to install power meter 6a₂ and 6b₂ in the consistency machine side, and to also measure the return electric power from the consistency machines 7a and 7b rather than the isolators 24a and 24b in order to optimize matching states.

[0089]** In the device 1A of a 1st embodiment, in order to branch the coaxial cables 8a and 8b by the electrode side from the consistency machines 7a and 7b, used the T junction plug, but. On the other hand, in the device 1B of this embodiment, even if unequal ** of plasma load, a temporal change, etc. occurred, the distributors 26a and 26b were used so that stable power allocation might be performed.

[0090]The input control power of a total of 4 kW was inputted, and the high speed on for example, micro crystallite film production and of 1.5nm/second in film production speed was obtained by the above improvement. Thickness uniformity was **10%. This has cleared the thickness uniformity needed with the Si-thin-film semiconductor for solar cells.

[0091](A 3rd embodiment) The device concerning a 3rd embodiment of this invention is explained, referring to drawing 4. Drawing 4 is a figure showing the feeder circuit of the device 1C concerning a 3rd embodiment that added change to the high high frequency (VHF) feeder circuit of the device 1B of a 2nd embodiment shown in drawing 3.

[0092]The device 1C is provided with the following.

The independent two power supplies 5a and 5b.

Oscillator 20.

Phase detectors 30a and 30b.

The phase shift machine 33 and the function generator 34.

The two power supplies 5a and 5b supply electric power to the electrode 303 independently in high high frequency (VHF) power with a same frequency of 60 MHz, respectively. The phase shift machine 33 is inserted between the oscillator 20 and the 2nd power supply 5b, and the phase of the high frequency to which electric power is supplied from the 2nd power supply 5b is shifted. The high frequency to which electric power is supplied by the electrode 303 from the 2nd power supply 5b by this stops synchronizing with the high frequency to which electric power is supplied by the electrode 303 from the 1st power supply 5a, and the electric supply power from both the power supplies 5a and 5b is shifted. The function generator 34 is for sending arbitrary waveform signals to the phase shift machine 33, and controlling the temporal change of phase contrast.

[0093]If high high frequency (VHF) with a frequency of 60 MHz is oscillated from the oscillator 20, After one of them is amplified with the 1st power supply 5a as it is, and it sends it to the primacy phase detector 30a via power meter 6a₁, isolator 24a, and power meter 6a₂ and the consistency machine 7a and it performs phase detection with the phase detector 30a, it is supplied to the electrode 303 via the distributor 26a.

[0094]A phase is shifted to one line of everything but oscillation quantity high frequency (VHF) with the phase shift machine 33, The rest is similarly sent to the 2nd phase detector 30b via 2nd power supply 5b and power meter 6b₁, isolator 24b, and power meter 6b₂ and the consistency machine 7b, and after it performs phase detection with the phase detector 30b, it is supplied to the electrode 303 via the distributor 26b. In this case, the function generator 34 controls so that the phase contrast of the system a and the system b changes in time with the phase shift machine 33. That is, the temporal change of phase contrast inputted into the phase shift machine 33 the arbitrary waveform signal generated with the function generator 34, and controlled it. Phase contrast detected the phase of each systems a and b with the phase detectors 26a and 26b just before each distributors 30a and 30b, sent the detection phasing signal to the phase shift machine 33, and carried out feeding back control.

[0095]By changing phase contrast in time to a standing wave happening and plasma becoming uneven, if it fixes to fixed phase contrast and operates in this embodiment, A standing wave can be moved and a uniform plasma generation and film production thickness distribution can be acquired with the time average within film production time. And when the isolators 24a and 24b and the protection circuit 22 which are used by a 3rd embodiment operate the power supplies 5a and 5b like the case of the device 1B of a 2nd embodiment of the above, they contribute to stabilization of the power supplies 5a and 5b.

[0096]Under the present circumstances, when phase contrast is modulated not much at high speed, the frequency band of high frequency spreads, the frequency bandwidth of the isolators 24a and 24b is exceeded, and there is possibility of the isolators 24a and 24b being damaged. Then, the spectrum analyzer (not shown) was connected to the phase detection parts 30a and 30b, and the modulation rate was determined in the range which becomes less than 1% of the frequency which is rating about bandwidth.

[0097]In this example, when the frequency of the phase control signal from the function generator 34 was modulated as 10 kHz, bandwidth did not exceed 1%.

[0098](A 4th embodiment) The device concerning a 4th embodiment of this invention is explained, referring to drawing 5. Drawing 5 is a figure showing the feeder circuit of the device 1D concerning a 4th embodiment that added change to the high high frequency (VHF) feeder circuit of the device 1A shown in drawing 1.

[0099]The device 1D is provided with the following.

The independent two power supplies 5a and 5b.

The two independent power meters 6a and 6b.

Mixer 40.

The consistency machine 7 and the distributor 26.

According to a 4th embodiment, the high high frequency (VHF) electric power of frequency which is different first, respectively from two sets of independent RF generators 5a and 5b is outputted. This high-frequency power was mixed by the mixer 40, and the rudder electrode 303 was supplied via the consistency machine 7 and the distributor 26.

[0100]This embodiment could acquire less than **10% of thickness uniformity, and was able to attain the desired end in the simple feeder circuit. Incidentally, by this embodiment, time was taken in trial and error of optimization of feeding point arrangement, and the rating of the mixer 40 restricted the maximum of electric power to 2 kW.

[0101](A 5th embodiment) The device concerning a 5th embodiment of this invention is explained, referring to drawing 6. Drawing 6 is a figure showing the feeder circuit of the device 1E concerning a 5th embodiment that added change to the high high frequency (VHF) feeder circuit of the device 1A of a 1st embodiment shown in drawing 1.

[0102]The device 1E is provided with the following.

AM oscillator 50.

RF generator 5.

Power meter 6.

The consistency machine 7 and the distributor 26.

It was considered as with the carrier frequency of 60 MHz, and a modulation frequency of 30 MHz AM high frequency by amplifying and obtaining the high frequency of RF generator 5 with the AM oscillator 50. In this, electric power was supplied to the rudder electrode 303 via the power meter 6, the consistency machine 7, and the distributor 26.

[0103]According to this embodiment, **15% of comparatively uniform thickness distribution was able to be acquired in the simple circuit.

[0104](A 6th embodiment) S. Samukawa, "Role of Negative Ions in High-Performance Etching Using Pulse-Time-Modulated Plasma", Extended As it is in Abstract of 4th International Conference on Reactive Plasmas, SR 1.04, pp.415, and 1998., When generating plasma using the gas of a halogen system, for example, the gas of a chlorine system, generating a chlorine anion (Cl^-) and using for etching of a semiconductor, conventionally, By turning on and off the electric power generated from an RF generator, improvement in the speed of etching and quality improvement are attained using the effect that being generated by the chlorine anion in large quantities by the electron attachment effect when it generates, plasma's is extinguished and plasma's is extinguished, and the wall charge produced in a substrate face disappear. In this example, it is aiming to produce this effect by moving a standing wave. The difference of two different frequency shall be 4 kHz using the device 1B of a 2nd embodiment shown in drawing 3, plasma was generated using the gas of a halogen system, for example, the gas of a chlorine system, the chlorine anion (Cl^-) was generated, and the semiconductor was etched. At this time, in the portion of the film of a standing wave, since plasma will be in the state of ON, and the state of OFF of plasma in the portion of a paragraph, by moving a standing wave at high speed, it is efficient and can etch by generating a chlorine anion in large quantities and simply at high speed.

[0105]The speed to which a standing wave is moved, i.e., the change cycle of a phase, was longer than about 100 microseconds of generating time of the chlorine anion shown in said reference paper, and it was made into about 250 microseconds so that it might become 4 or less times more than twice. At this time, the time of the plasma OFF will be about 125 microseconds, and sufficient anion generating is obtained. This is realizable by the difference of frequency being 4 kHz.

[0106]While plasma density becomes high compared with 13.56 MHz used with a conventional method by using 60 MHz for the frequency of high frequency, when plasma sheath thickness becomes thin, A lot of chlorine anions by which it is generated in plasma flow into a substrates face efficiently, and the effect that an etch rate becomes still quicker is acquired. As for these results, an about 4 times [at the time of using the conventional 13.56 MHz single frequency] etch rate was obtained. This embodiment is applicable also to surface treatment methods, such as washing by the plasma of the reaction vessel

used for film production of a silicon thin film etc., and what is called self-cleaning.

[0107](A 7th embodiment) The device concerning a 7th embodiment of this invention is explained, referring to drawing 7. Drawing 7 is a figure showing the feeder circuit of the device 1F concerning a 7th embodiment that added change to the feeding point and high frequency frequency of the device 1A which were shown in drawing 1.

[0108]The device 1F is provided with the following.

The 1st power supply 5a that supplies high frequency with a frequency of 60.00 MHz.

The 2nd power supply 5b that supplies high frequency with a frequency of 13.56 MHz.

Two feeding point $9b_2$ attached to the ground electrode 3, $9b_2$.

[0109]The high-density nature by 60-MHz high high frequency when this embodiment was applied to etching of the silicone film by halogen system gas NF_3 , The high-speed etch rate (about 10nm/(second)) was uniformly obtained by the large area of 1 m x 1 m according to the board bias effect by 13.56 MHz, and the depressor effect of the standing wave according to the difference of both frequency further.

[0110]This embodiment is applicable also to surface treatment methods, such as washing by the plasma of the reaction vessel used for film production of a silicon thin film etc., and what is called self-cleaning.

[0111]Although the embodiment of the above 1-7 mainly explained the example of a four-point feed system, this invention can be applied to other multipoint feed systems, such as a two-point feed system, a six-point feed system, an eight-point feed system, a ten-point feed system, and a 12-point feed system, without being restricted only to this.

[0112]

[Effect of the Invention]According to this invention, uniform processing can be performed to very big substrate and surface which use high high frequency (VHF) for film production, an etching process, etc. of a large area, and also exceed 1 m x 1 m. In spite of being high high frequency in plasma-CVD film production etc., the high frequency plasma production method, semiconductor manufacturing method, and surface treatment method which can equalize cotton RIPURAZUMA density broadly are provided.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The configuration block figure showing the RF generator circuit and reaction vessel of a device which were used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 1st embodiment of this invention.

[Drawing 2]The ultimate-lines figure showing the result of having measured the homogeneity of the plasma emission intensity distribution aiming at processing of 2 m x the 2-m size board which were obtained by 1st embodiment.

[Drawing 3]The configuration block figure showing the RF generator circuit of the device used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 2nd embodiment of this invention.

[Drawing 4]The configuration block figure showing the RF generator circuit of the device used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 3rd embodiment of this invention.

[Drawing 5]The configuration block figure showing the RF generator circuit of the device used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 4th embodiment of this invention.

[Drawing 6]The configuration block figure showing the RF generator circuit of the device used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 5th embodiment of this invention.

[Drawing 7]The configuration block figure showing the RF generator circuit of the device used for the power feeding method to the discharge electrode concerning a 7th embodiment of this invention.

[Drawing 8]The section block diagram showing the PCVD device of the method which supplies electric power to one point of the center of the back side of the conventional parallel plate electrodes.

[Drawing 9]The section block diagram showing the PCVD device of the method which supplies electric power to four points of the conventional rudder electrode.

[Drawing 10]The figure which looked at the conventional device of drawing 9 from another direction.

[Drawing 11]The ultimate-lines figure showing distribution of voltage when electric power is supplied to one point of an electrode at 100 MHz, and ion saturation current distribution, respectively.

[Drawing 12]The ultimate-lines figure showing distribution of voltage when four points supply electric power to a rudder electrode at 60 MHz and 100 MHz.

[Drawing 13]The ultimate-lines figure showing distribution of voltage when the termination of the end of parallel plate electrodes is carried out by a reactance at 100 MHz.

[Description of Notations]

1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F -- Plasma CVD device

2 -- Reaction vessel,

3 -- Ground electrode (substrate heater),

5a, 5b -- RF generator,

6a, 6a₁, 6a₂, 6b, 6b₁, 6b₂ -- Power meter,

7a, 7b -- Consistency machine,

8a, 8b -- Coaxial cable

9, 9a, 9b₁, 9b₂ -- Feeding point,

16 -- Substrate,
17 -- Gas supply line
18 -- Exhaust pipe,
20 -- Transmitter,
22 -- Protection circuit,
24a, 24b -- Isolator,
26, 26a, 26b -- Distributor,
30a, 30b -- Phase detector,
33 -- Phase shift machine,
34 -- Function generator,
40 -- Mixer,
50 -- AM oscillator,
100 -- Parallel-plate-electrodes type plasma CVD device,
110 -- Rudder electrode type plasma CVD device,
303 -- Rudder electrode,
304 -- Lengthwise direction pole bolt,
305 -- Transverse direction pole bolt.

[Translation done.]

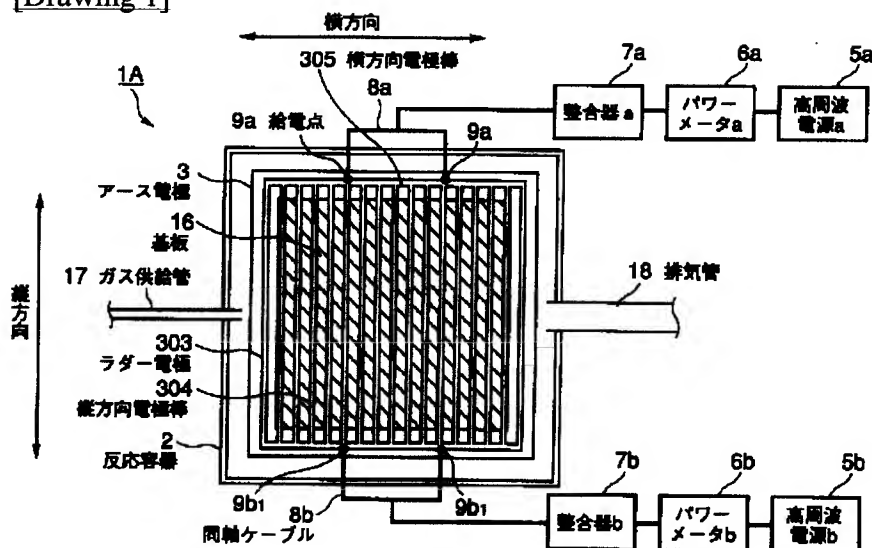
* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

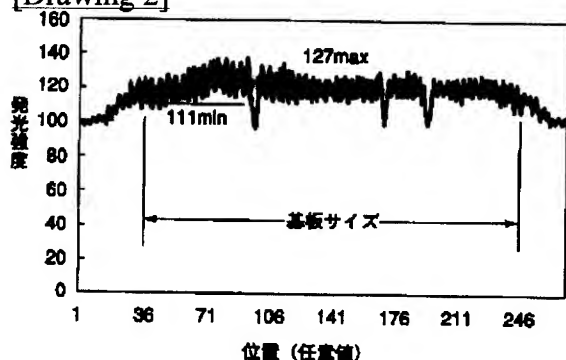
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

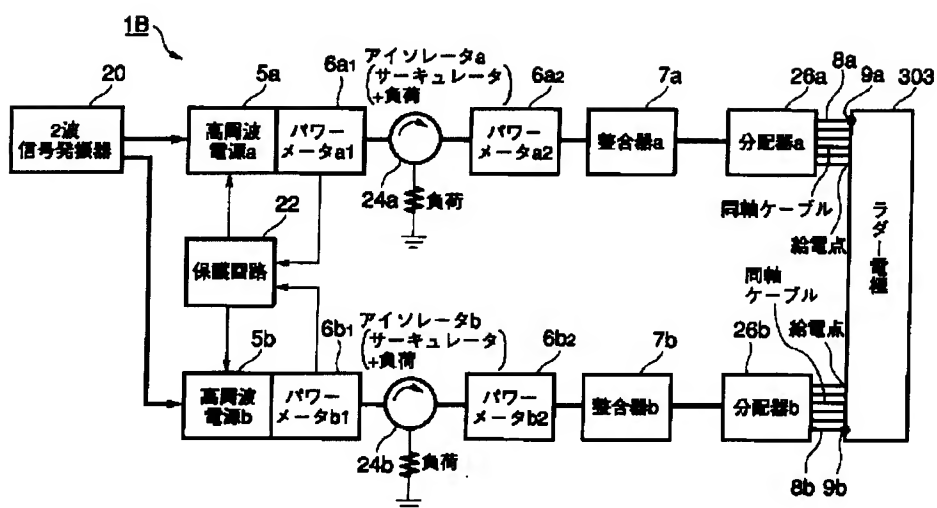
[Drawing 1]



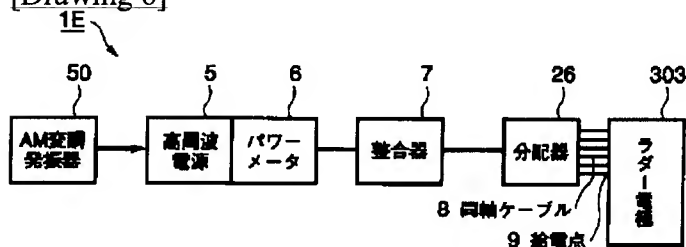
[Drawing 2]



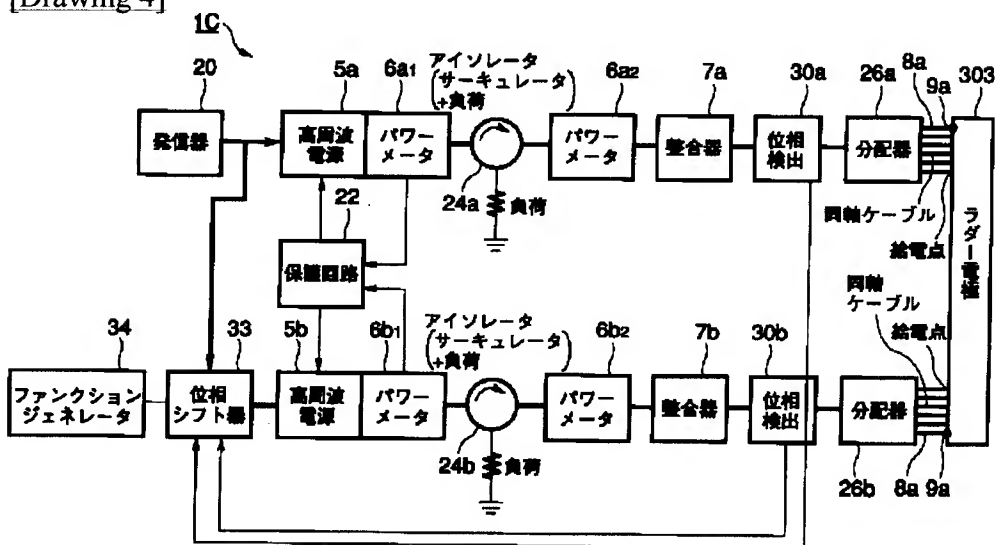
[Drawing 3]



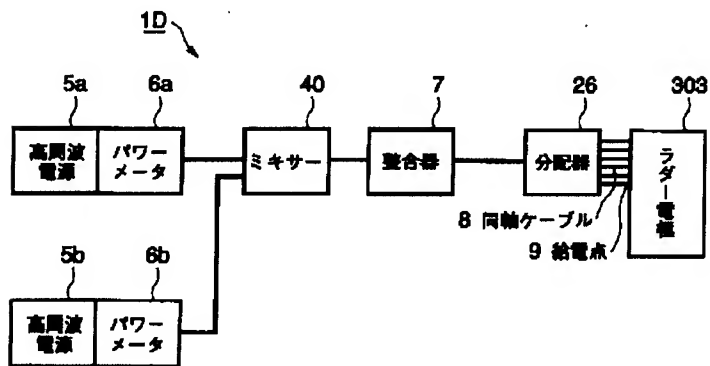
[Drawing 6]



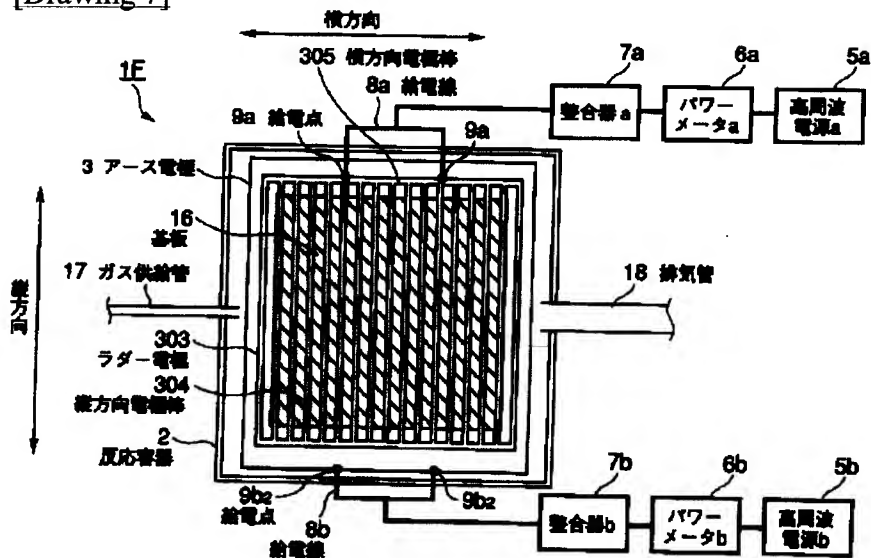
[Drawing 4]



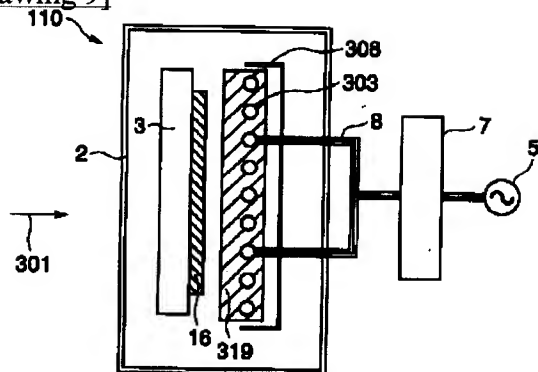
[Drawing 5]



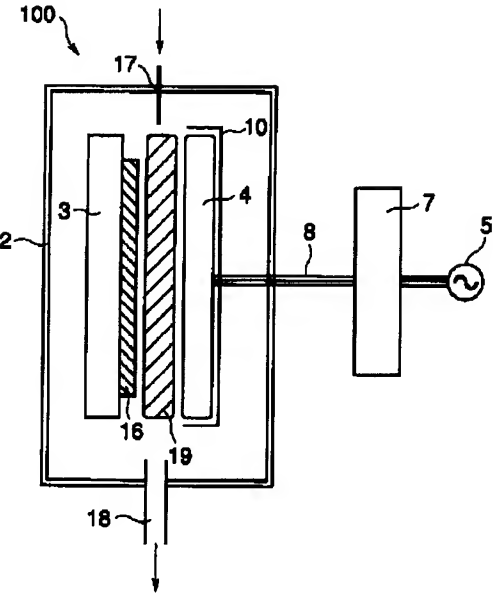
[Drawing 7]



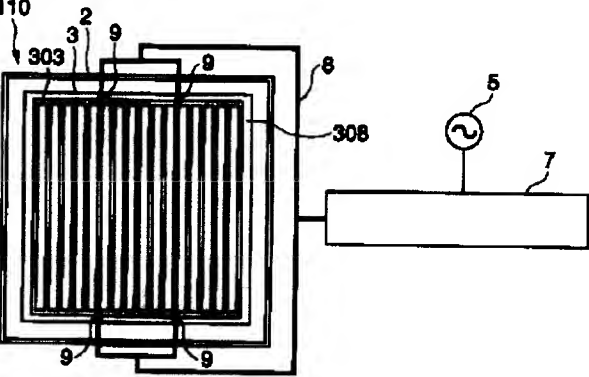
[Drawing 9]



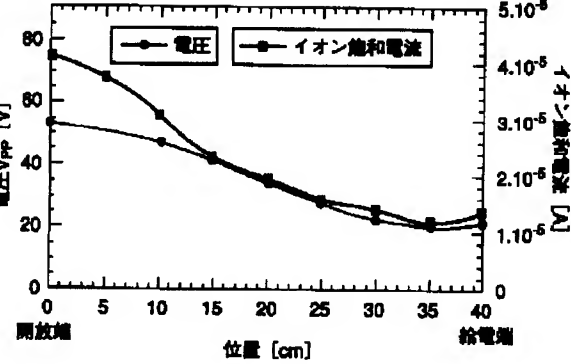
[Drawing 8]



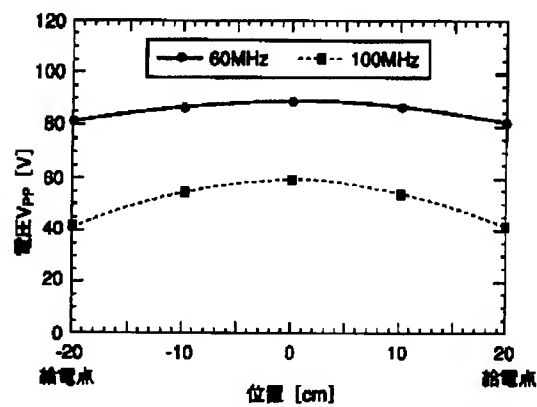
[Drawing 10]



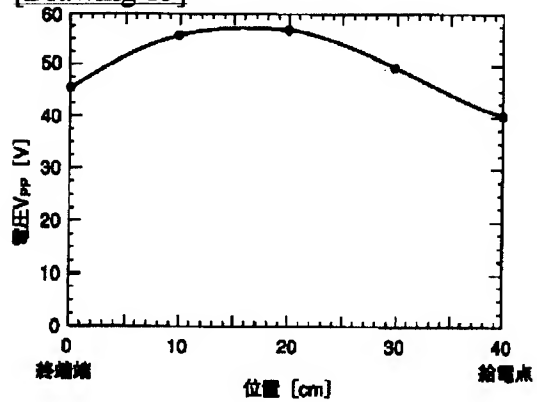
[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Drawing 13]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-274099

(P2001-274099A)

(43) 公開日 平成13年10月5日 (2001.10.5)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

4 K 0 3 0

C 2 3 C 16/505

C 2 3 C 16/505

5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/3065

H 0 5 H 1/46

M 5 F 0 4 5

H 0 5 H 1/46

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2000-85281(P2000-85281)

(22) 出願日 平成12年3月24日 (2000.3.24)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号

(72) 発明者 山越 英男

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1

三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(72) 発明者 佐竹 宏次

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1

三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

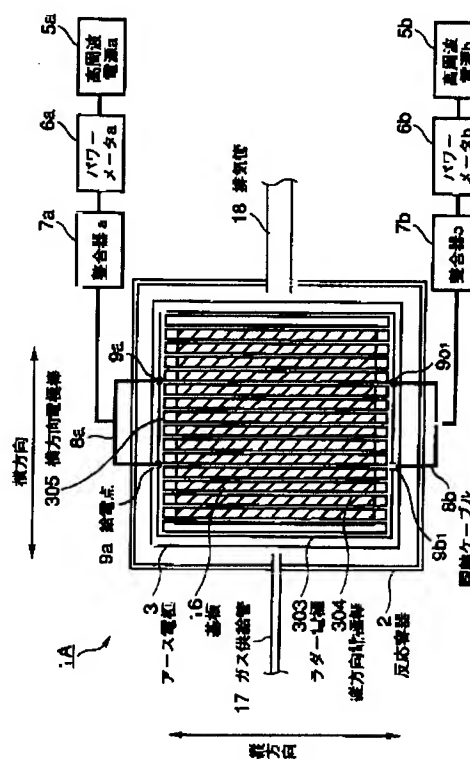
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電電極への給電方法、高周波プラズマ発生方法および半導体製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高周波 (VHF) を利用するプラズマ CVD 等において、大きな基板等を対象として、大面積で均一なプラズマを生成させ、均一処理を行うことができる放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成装置および半導体薄膜製造方法を提供する。

【解決手段】 放電電極に給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、異なる発振周波数の高周波を互いに独立する高周波電源を用いて、それぞれの電源の周波数の差により定在波の発生を抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 放電電極に給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、異なる発振周波数の高周波を互いに独立する高周波電源を用いて供給し、それぞれの電源の周波数の差により定在波の発生を抑制することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項2】 請求項1記載の方法において、各高周波電源間の周波数の差を、各高周波電源の発振周波数の20%以内とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項3】 請求項1又は2記載の方法において、各高周波電源の周波数を、一台の発振器により制御することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項4】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための給電方法であって、2つまたはそれ以上の高周波電源で、かつ、それぞれの周波数が異なる、もしくは、それぞれの位相差の時間変化が異なる高周波電源を用い、1つの放電容器内の1つまたはそれ以上の放電電極に接続する給電方法において、放電電極への複数の給電点を互に対称な位置に配置することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項5】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための給電方法であって、2つまたはそれ以上の高周波電源を用い、かつ、それぞれの周波数が異なる、もしくは、それぞれの位相差の時間変化が異なる高周波電源を用い、1つの放電容器内の1つまたはそれ以上の放電電極に接続する給電方法において、負荷電極と高周波電源のインピーダンス整合を行う整合器と、当該高周波電源の間に、アイソレータを設置し、当該高周波電源への他の高周波電源からの入射高周波電力を削減し、当該電源を保護することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項6】 請求項5記載の方法において、各高周波電源の周波数の差が、周波数の平均の4%以内、好ましくは1%以内であることを特徴とする給電方法。

【請求項7】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための給電方法であって、2つまたはそれ以上の高周波電源を用い、1つの放電容器内の1つまたはそれ以上の放電電極に接続する給電方法において、各高周波電源に放電電極側から入射する高周波電力の大きさにより、当該高周波電源以外の高周波電源の出力を制限し、当該高周波電源への他の高周波電源からの入射高周波電力を削減し、当該高周波電源を保護することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項8】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための給電方法であって、2つまたはそれ以上の高周波電源を用い、かつ、それぞれの周波数が異なる、もしくは、それぞれの位相差の時間変化が異なる高周波電源を用い、1つの放電容器内の1つまたはそ

れ以上の放電電極に接続する給電方法において、複数の高周波電源からの高周波電力を高周波ミキサーにより結合し、放電電極に給電することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項9】 給電された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極への給電方法であって、当該高周波電力の電圧振幅を時間的に変化させる、すなわち、AM変調することにより、当該放電電極内に生じる電圧分布を変化させることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項10】 請求項1乃至9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命より短く、好ましくは1/2以下とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項11】 請求項1乃至9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、下式から計算されるSiH₃活性分子の寿命 τ ：

$$\tau \approx (\Delta x)^2 / (2D)$$

ここに、Dは拡散係数で $D = 2.5 \times 10^3$ (cm²/秒)、 Δx は電極から基板までの距離 (cm) または二水素原子ラジカルの寿命 1.1×10^{-4} 秒の、どちらか一方、もしくは、両方より短く、好ましくは1/2以下とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項12】 請求項1乃至9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの発生寿命より長く、かつ、10倍以下、好ましくは2倍以上4倍以下とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項13】 請求項1乃至9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、またはAM変調周波数の逆数である周期を、1秒以下、好ましくは1ミリ秒以下とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項14】 請求項1乃至9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、またはAM変調周波数の逆数である周期を、下式から計算される原料ガスの放電領域滞在時間 t よりも長く、好ましくは2倍以上とすることを特徴とする放電電極への給電方法。

$$t \approx (S \cdot \Delta x) / Q$$

ただし、Sは基板面積 (cm²)

Δx は放電電極から基板までの距離 (cm)

Qは体積流量 (cm³/秒)

【請求項15】 請求項1乃至14項のうち何れか1記載の給電方法において、放電電極がラダー型電極または

網目状電極であることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項16】 請求項1乃至14項のうち何れか1記載の給電方法において、放電電極が平行平板型電極であることを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項17】 請求項1乃至16項のうち何れか1記載の給電方法において、放電電極のうち、基板を設置する電極と、基板を設置しない電極のそれぞれに、2台またはそれ以上の高周波電源から高周波電力を供給することを特徴とする放電電極への給電方法。

【請求項18】 請求項1乃至17のうち何れか1記載の給電方法によってプラズマを発生させることを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項19】 請求項18記載のプラズマ発生方法によって、製膜、エッチング、もしくは表面処理の分布均一化を図ることを特徴とする半導体製造方法または表面処理方法。

【請求項20】 請求項1乃至17項に記載の給電方法によってプラズマを空間的および時間的に移動させることにより、プラズマ内の活性分子の発生を高効率化することを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項21】 請求項18記載のプラズマ発生方法によって、製膜、エッチング、もしくは表面処理の高速化を図ることを特徴とする半導体製造方法または表面処理方法。

【請求項22】 請求項1乃至21項のいずれかに記載の給電方法、プラズマ発生方法、または、半導体製造方法において、使用する全ての高周波の周波数が10～800MHzの範囲にあることを特徴とする給電方法、プラズマ発生方法、半導体製造方法、または表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、太陽電池や薄膜トランジスタなどに用いられるアモルファスシリコン、微結晶シリコン、多結晶薄膜シリコン、窒化シリコンなどの半導体の製膜や、半導体膜のエッチングに用いられる高周波プラズマ発生装置の放電電極への給電方法、および、これを用いたプラズマ発生方法および半導体製造方法に関する。また、放電を用いた各種の表面処理にも用いることができる。

【0002】

【従来の技術】上記高周波プラズマ発生装置の構成とそれを用いた半導体の製造方法の例として、アモルファスシリコン半導体薄膜（以下、a-Siという）をプラズマ化学蒸着装置（以下PCVD装置という）にて製造する場合について、①平行平板型電極を用いた場合と、②ラダー電極を用いた場合の2つの場合の代表例を挙げて説明する。

【0003】図8はa-Si製膜にごく一般に用いられ

る①の平行平板型電極を用いた装置の一構成例を示している。反応容器1内に基板ヒータ2を設置し、電気的に接地する。基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば20mm離して平板電極3を設置する。平板電極3には外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続する。平板電極3には基板ヒータ2と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないようにアースシールド8を設置する。

【0004】a-Si製膜は以下の手順で行う。まず、たとえば200℃に設定した基板ヒータ2上にa-Si薄膜を製膜する基板16を設置する。ガス供給管17からSiH₄ガスをたとえば流速50sccmで導入し、真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで反応容器1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。高周波電力を供給し、基板16と平板電極3の間にプラズマを発生させる。高周波電力が効率良くプラズマ発生部に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整する。プラズマ19中ではSiH₄が分解し、基板16表面にa-Si膜が製膜される。たとえば10分間程度この状態で製膜を行うことにより必要な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0005】図9は②のラダー電極303を用いた装置の一構成例を示している。ラダー電極についてはたとえば特開平4-236781号公報に詳細が報告されている。図10はラダー電極303の構造がよく分かるように図9のA方向から描いた図である。また、ラダー電極を発展させた電極形状として、ラダー電極のように複数の電極棒を平行に並べた電極群を2つ直行させて配置させた網目状の電極がたとえば特開平11-111622号公報に報告されているが、これもラダー電極の一種と考えられ、同様に用いることができる。

【0006】反応容器1内に基板ヒータ2（図10には図示していない）を設置し、電気的に接地する。基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば20mm離してラダー電極303を設置する。ラダー電極303には外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続する。ラダー電極303には基板ヒータ2と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないようにアースシールド308を設置する。

【0007】a-Si製膜は以下の手順で行う。まず、たとえば200℃に設定した基板ヒータ2上にa-Si膜を製膜する基板16を設置する。ガス供給管17からSiH₄ガスをたとえば流速50sccmで導入し、真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで反応容器1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。高周波電力を供給し、基板16とラダー電極303の間にプラズマを発生させる。高周波電力が効率良くプラズマ319発生部に供給され

るようにインピーダンス整合器5を調整する。プラズマ319中では SiH_4 が分解し、基板16にa-Si膜が製膜される。たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより必重な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0008】本構成例は図8の構成例と比較して、以下の2点の特徴がある。第一の特徴は、電極として平板電極を用いず、円形断面の電極棒を梯子型に組んだラダー型と呼ばれる電極を用いていることである。本電極は電極棒の間を原料の SiH_4 ガスが自由に流れるので、原料供給が均一に行われるという特徴を持つ。第二の特徴は、給電を電極の1箇所に行うのではなく、複数（ここでは4点）箇所に行っていることである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】現在、上記技術を用いて作製される太陽電池用薄膜半導体、フラットパネルディスプレイ用薄膜トランジスタなどは、高速製膜による低コスト化、および、低欠陥密度、高結晶化率などの高品質化が求められている。これら要求を満たす新しいプラズマ生成方法として、高周波電源の高高周波化（30～800MHz）がある。高周波化により製膜速度の高速化と高品質化が両立されることが、たとえば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, pp.9, 1997に記されている。とくに、a-Siに代る新しい薄膜として注目されている微結晶Si薄膜の高速高品質製膜にこの高周波が適していることが最近分かってきている。

【0010】ところが、この高高周波による製膜は、均一大面積製膜が難しいという欠点がある。これは、高周波の波長が電極サイズと同程度のオーダーであることから、電極端などで生じる反射波を主因とする電極上定在波の発生、浮遊インダクタンスの存在による電圧分布への影響、プラズマと高周波との相互干渉などでプラズマが不均一となり、結果、製膜が不均一になるためである。

【0011】①平行平板電極を用いた場合の代表例として挙げた上記構成例において、電極サイズが30cm×30cmを越え、または、周波数が30MHzを越えると、上記定在波の影響が顕著となり、半導体製膜上最低限必要な製膜膜厚均一性±10%の達成が困難になる。

【0012】図11は、100MHzでの定在波による電圧分布の1例である。図11には同時にイオン飽和電流分布も示している。イオン飽和電流分布は、電子密度分布にはほぼ等しく、計測が簡単であるので、一般にプラズマ分布の指標として用いられる。電圧分布を見ると電極上に定在波が生じており、それに対応してイオン飽和電流分布すなわちプラズマ分布が不均一になっていることが分かる。

【0013】一方、②ラダー電極を用いた場合の代表例としてあげた図9、図10は、ラダー電極を用いていることに加え、1点給電では顕著に生じてしまう定在波を、4点に給電することにより低減したことを特徴とす

るものである。しかしながら、この場合でも、電極サイズが30cmを越え、または、周波数が80MHzを越えると均一な製膜の実現が難しくなってくる。

【0014】図12に60MHzおよび100MHzで4点給電したときのラダー電極上に生じる電圧分布を示す。60MHzでは比較的均一な電圧分布を示しているが、100MHzでは不均一になってしまっている。また、4点の給電点位置は、試行錯誤的に最適位置を見つける必要があり、非常に手間暇がかかる。さらに、ガス圧、高周波電力などの製膜条件を変更すると、最適位置が変ってしまうという問題がある。

【0015】以上のような問題は学会でも注目され、これまでに例えば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, pp.27, 1995に記されているように、平行平板の給電側と反対側にロスのないリアクタンス（コイル）を接続することが提案されている。これは、定在波の電極端からの反射条件を変えることで、定在波の波形の中で分布が比較的平らな部分、たとえば正弦波の極大付近を電極上に発生させて、電極に生じる電圧分布を少なくするものである。しかしながら、この方法は定在波を根本から無くすのではなく、正弦波のうち平らな部分が電極上に発生するようにするだけであるため、均一部分が得られるのは波長の1/8程度までであり、それを越える範囲の均一化は原理的に不可能である。図13に100MHzで平行平板の一端をロスのないリアクタンス（コイル）で終端したときの電圧分布を示す。このように、終端端から30cm程度は均一であるが、それ以上は不均一になってしまっており、この部分は製膜に用いることができない。

【0016】以上のように、高周波を用いたプラズマ発生において、従来の技術では、1m×1mを越えるような非常に大きな基板を対象として、大面積で均一なプラズマを発生し、均一処理を行うことはできなかった。

【0017】なお、本発明の類似技術として、2つのこととなる高周波を2つの放電電極にそれぞれ供給する技術があり、たとえば、M. Noisan, J. Pelletier, ed., "Microwave Excited Plasmas", Technology, 4, second impression, pp.401, Elsevier Science B.V. 1999に詳述されている。

【0018】しかし、この技術の目的は、1つの高周波をプラズマ生成のために、他方の高周波を絶縁性の基板の表面バイアス電圧の制御のために用い、基板への活性イオン等の流入量および入射エネルギーを制御することであり、本発明の1m×1mを越えるような非常に大きな基板を対象として、大面積で均一なプラズマを発生し、均一処理を行う目的とは全く異なるものである。

【0019】本発明は上記課題を解決するためになされたものであって、高周波（VHF）を利用するプラズマCVDにおいて、大きな基板を対象として、大面積で均一なプラズマを生成させ、均一処理を行うことができ

る放電電極への給電方法、高周波プラズマ生成装置および半導体薄膜製造方法を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決する高周波放電電極の発明の第1は、こうした事情を考慮し、電極上に生じる定在波の発生を原理的に無くし、電圧分布を均一にすることによって、1m×1mを越える非常に大きなサイズの基板に対しても均一な製膜をすべく考案されたものである。

【0021】高周波でのプラズマ密度の不均一発生原因としては、上記のように、電極上定在波の発生、浮遊インダクタンスの存在による電圧分布への影響、プラズマと高周波との相互干渉などが考えられてきたが、発明者らはこれを鋭意検討した結果、発明が解決しようとする課題に記したように、電極上の定在波発生が主因であることを見いだした。そこで、定在波の発生を原理的に無くす手段として、電極に2つの周波数を供給してビートを生じさせることを考えた。

【0022】以下に、わかりやすくするため簡単化して

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = \cos(\omega_1 t - k_1 z) + \cos(\omega_2 t + k_2 z) = 2 \cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z) \cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z) \dots (4)$$

ただし、

$$\omega_{ave} = \omega_1 + \omega_2 / 2, \quad \omega_{mod} = \omega_1 - \omega_2 / 2,$$

$$k_{ave} = k_1 + k_2 / 2, \quad k_{mod} = k_1 - k_2 / 2$$

まず、 $\omega_1 = \omega_2$ の場合、すなわち、両端から同じ周波数の高周波を供給した場合を考える。これは、たとえば単一の電源から高周波電力を2つに分配して供給した場

$$\phi = 2 \cos(\omega_1 t) \cos(-\omega_1 / v_1 \cdot z) \dots (5)$$

上式(5)から、角周波数 ω_1 のキャリア波 $\cos(\omega_1 t)$ と、包絡線 $\cos(-\omega_1 / v_1 \cdot z)$ からなる定在波が生じてしまうことが分かる。

$$\phi = 2 \cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z) \cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z) \dots (6)$$

上式(6)から、角周波数 ω_{ave} のキャリア波 $\cos(\omega_{ave} t - k_{mod} z)$ と、一般的に「ビート」もしくは「うなり」と呼ばれる角周波数 ω_{mod} の変調波 $\cos(\omega_{mod} t - k_{ave} z)$ となり、変調波は空間的に移動し、定在波となることがない。

【0030】本発明はこの原理に基づき、2つまたはそれ以上の異なる周波数の高周波を電極に供給することにより、高周波を用いて高速高品質製膜を得ながら、例えば1m×1mを越えるような非常に大きな基板サイズを対象とした装置でも、電極での定在波の発生を抑え、均一なプラズマおよび均一な処理を可能とする放電電極への給電方法を提供するものである。

【0031】また、本発明の第二は、2つまたはそれ以上の電源から高周波を電極に供給するために必要な電源保護の方法を提供するものである。

【0032】また、本発明の第三は、プラズマ発生の周期を、そのプラズマ処理に必要なプラズマ中の活性分子

説明する。すなわち、1次元に簡単化し、2つの周波数を1本の電極の両端から供給する場合を考え、さらに、それぞれの高周波の波の減衰が無視でき、かつ、それぞれの振幅が1で位相定数が等しく、かつ、電極端での反射が小さく無視できるとすれば、両端から供給される高周波の波はそれぞれ下式(1)及び(2)で与えられる。

$$\phi_1 = \cos(\omega_1 t - k_1 z) \dots (1)$$

$$\phi_2 = \cos(\omega_2 t + k_2 z) \dots (2)$$

ここで、 ω はそれぞれの波の角周波数(rad/s)、 k は波数(rad/m)、 t は時間(s)、 z は位置(m)である。

【0024】波数 k は、位相速度 v (m/s)および角周波数 ω を用いて次式(3)のように表される。

$$k_1 = \omega_1 / v_1, \quad k_2 = \omega_2 / v_2 \dots (3)$$

電極上の電圧分布 ϕ は、これらの波の和、すなわち下式(4)で表される。

【0026】

合、もしくは、単一の発振器からの高周波で複数の高周波電源を同期させて運転しその出力を供給した場合に相当する。この場合、電圧分布 ϕ は下式(5)で表される。

【0027】

【0028】一方、周波数の違う $\omega_1 \neq \omega_2$ の場合には、下式(6)で電圧分布 ϕ が求められる。

【0029】

などが効率よく発生する周期にすることにより、処理効率を向上させる方法を提供するものである。

【0033】また、本発明の第四は、プラズマ発生の周期をパーティクルの発生の抑制、またはパーティクルの放電領域からの排出に効果的な周期とすることにより、パーティクルの低減、膜質の向上、膜圧分布を均一化する方法を提供するものである。

【0034】以下、各請求項ごとに詳細を説明する。

【0035】前記課題を解決する請求項1の高周波放電電極への給電方法の発明は、2つの周波数($\omega_1 \neq \omega_2$)を電極に供給する具体的な手段として、2台の独立した高周波電源を用いることにより効果を得ることを狙ったものである。通常、たとえば60MHzの電源を2台用意した場合、それぞれに内蔵されている発振器の精度のため、数百kHz程度の周波数の違いがあるのが普通である。したがって、この違いにより $\omega_1 \neq \omega_2$ が自動的に成り立ち、定在波の発生が抑制でき、非常に簡単なシステ

ムで課題の解決が図れる。

【0036】請求項2は、各高周波電源間の周波数の差を余り大きくして、片方の周波数が最適な周波数から大きくずれてしまうと、製膜やエッチングの性能が、最適な周波数の性能から著しく低下してしまうので、これを防止するため、周波数の差を20%以内としたものである。

【0037】請求項3は、全くの独立した電源では、周波数の差が安定せず、再現性に問題が生じることがあるので、これを一定値に制御することにより、再現性を確保することを目的としたものである。

【0038】請求項4は、複数電源を用いて定在波を抑制するにあたり、前記の1次元的なモデル化が当てはまる必要があるが、1つの具体的条件として放電電極への複数の給電点を互いに対称な位置に配置することを特徴としたものである。

【0039】請求項5は、複数電源を用いて定在波を抑制するにあたり、当該電源に他の電源から周波数および位相の違う高周波が入射し、当該電源が損傷を受けることを防止することを目的とし、負荷電極と高周波電源のインピーダンス整合を行う整合器と、当該高周波電源の間に、アイソレータを設置し、当該高周波電源への他の高周波電源からの入射高周波電力を削減し、当該電源を保護することを特徴とするものである。

【0040】請求項6は、請求項5において、実際に容易に製作できるアイソレータの周波数帯域幅が、高周波電力1kW以下において4%程度であり、高周波電力2kW程度において1%程度であることから、この範囲内でのシステム構築を考え、各高周波電源の周波数の差を周波数の平均の4%以内、好ましくは1%以内であることを特徴とするものである。

【0041】請求項7は、複数電源を用いて定在波を抑制するにあたり、当該電源に他の電源から周波数および位相の違う高周波が入射し、当該電源が損傷を受けることを防止することを目的とし、各高周波電源に放電電極側から入射する高周波電力の大きさにより、当該高周波電源以外の高周波電源の出力を制限し、当該高周波電源への他の高周波電源からの入射高周波電力を削減し、当該高周波電源を保護することを特徴とするものである。請求項8は複数電源を用いて定在波を抑制するにあたり、1つの給電点から複数の周波数の高周波を供給することにより、別々の給電点から供給する場合と比べて安価にシステムを構築することを目的として、複数の高周波電源からの高周波電力を高周波ミキサにより結合し、放電電極に給電することを特徴とするものである。

【0042】請求項9は、定在波を抑制する手段として2つの周波数を用いるのとは別の手段として、高周波電力の電圧振幅を時間的に変化させる、すなわち、AM変調することにより、当該放電電極内に生じる電圧分布を変化させることを特徴とするものである。

【0043】請求項10は請求項1～9のいずれか1項に記載の給電方法において、周期が遅いとプラズマがON/OFFを繰り返す形となってしまう、製膜品質などの結果に悪影響を及ぼすので、これを防ぐため、擬似的にONの状態を続けるために必要な条件として、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの消滅寿命より短く、好ましくは1/2以下とすることを特徴とするものである。

【0044】請求項11は請求項1～9のいずれか1項に記載の給電方法において、周期が遅いとプラズマがON/OFFを繰り返す形となってしまう、製膜品質などの結果に悪影響を及ぼすので、これを防ぐため、擬似的にONの状態を続けるために必要な条件として、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、シランを用いたシリコン薄膜製膜を対象として具体的に、下式(7)から求められるSiH₃活性分子の寿命 τ ：

$$\tau = (\Delta x)^2 / (2D) \quad \dots (7)$$

ここに、Dは拡散係数で $D = 2.5 \times 10^3 \text{ (cm}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$ 、 Δx は電極から基板までの距離(cm)または二水素原子ラジカルの寿命 1.1×10^{-4} 秒の、どちらか一方、もしくは、両方より短く、好ましくは1/2以下とすることを特徴とするものである。

【0045】請求項12は、請求項1～9のいずれか1項に記載の給電方法において、プラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンがプラズマ発生後のOFF時間に発生し始める応用、たとえばエッチングなどへの応用を対象として、わざと周期を遅くして故意にプラズマのOFF時間を作り、プラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンが発生するのに十分なOFF時間を保持し、かつ、そのプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンが減少するまでに次のプラズマを発生させて再度OFFすることによって効率的に当該活性原子もしくは活性分子もしくはイオンを発生させる条件として、周波数の差の逆数である周期、または、AM変調周波数の逆数である周期を、当該放電電極で発生させるプラズマ中の活性原子もしくは活性分子もしくはイオンの発生寿命より長く、かつ10倍以下、好ましくは2倍以上4倍以下とすることを特徴とするものである。

【0046】請求項13は、請求項1～9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、またはAM変調周波数の逆数である周期を、1秒以下、好ましくは1ミリ秒以下とすることにより、パーティクルの低減を図ることを特徴とするものである。

【0047】請求項14は、請求項1～9のうち何れか1記載の給電方法において、周波数の差の逆数である周期、またはAM変調周波数の逆数である周期を、下式

(8) から計算される原料ガスの放電領域滞在時間 t よりも長く、好ましくは2倍以上とすることにより、パーティクルの低減を図ることを特徴とするものである。

【0048】 $t = (S \cdot \Delta x) / Q$ … (8)

ただし、 S は基板面積 (cm^2)

Δx は放電電極から基板までの距離 (cm)

Q は体積流量 ($\text{cm}^3/\text{秒}$)

請求項15は、請求項1～14のいずれか1項に記載の給電方法において、前記の1次元的なモデル化が簡単に成り立つ1つの具体的な条件として放電電極がラダー型電極であることを特徴とするものである。

【0049】請求項16は、請求項1～14のいずれか1項に記載の給電方法において、一般的に用いられる方法として、放電電極が平行平板型電極であることを特徴とするものである。

【0050】請求項17は、請求項1～16のいずれか1項に記載の給電方法において、基板側電極に、均一性を確保するための2周波数の1つであり、かつ、基板へのイオンの入射エネルギーを調整するための高周波電力を供給することを目的に、放電電極のうち、基板を設置する電極と、基板を設置しない電極のそれぞれに、2台またはそれ以上の高周波電源から高周波電力を供給することを特徴とするものである。

【0051】請求項18は、請求項1～17のいずれか1項に記載の給電方法によって、プラズマを発生させることを特徴とするプラズマ発生方法である。

【0052】請求項19は、請求項18に記載のプラズマ発生方法によって、半導体の製膜もしくはエッチングの分布均一化を図ることを特徴とする半導体製造方法または表面処理方法である。

【0053】請求項20は、請求項1～17に記載の給電方法によってプラズマを空間的および時間的に移動させることにより、プラズマ内の活性分子の発生を高効率化することを特徴とするプラズマ発生方法である。

【0054】請求項21は、請求項18に記載のプラズマ発生方法によって、半導体の製膜もしくはエッチングの高速化を図ることを特徴とする半導体製造方法である。

【0055】請求項22は、請求項1～21項のいずれかに記載の給電方法、プラズマ発生方法、半導体製造方法または表面処理方法において、使用する全ての高周波の周波数が10～800MHzの範囲にあることを特徴とする給電方法、プラズマ発生方法、半導体製造方法または表面処理方法である。

【0056】

【発明の実施の形態】以下、添付の図面を参照して本発明の種々の好ましい実施の形態について説明する。

【0057】(第1の実施の形態) 図1を参照しながら本発明の第1の実施形態に係る高周波プラズマ生成装置を説明する。装置1Aは、太陽電池用Si半導体薄膜を

製膜するために用いられる高周波プラズマ生成装置であり、その反応容器2内に放電電極としてのラダー電極303およびアース電極3を備えている。反応容器2は気密につくられ、ガス供給管17および排気管18が適所にそれぞれ開口している。ガス供給管17は図示しないガス供給源に連通し、これを通して製膜用ガスが反応容器17内に導入されるようになっている。排気管18は図示しない真空ポンプの吸引側に連通している。ちなみに真空ポンプにより反応容器2の内圧は 1×10^{-6} Torr程度まで真空排気することができるようになっている。

【0058】アース電極3とラダー電極303とは所定の間隔(例えば20mmの間隔)をもって対面配置されている。アース電極3は、被処理体としてのガラス基板16を保持するための機構(図示せず)を備え、基板16を加熱するためのヒータ(図示せず)を内蔵している。アース電極3は、被処理基板16が2.0m×2.0m角サイズである場合は2.1m×2.1m角サイズとし、接地されている。なお、ガス供給管17のガス吹き出し口は、ラダー電極303よりも後方にて開口していることが望ましく、複数の箇所からガスが並行に供給されることが好ましい。

【0059】ラダー電極303は、平行な複数本の縦方向電極棒304と一対の横方向電極棒305とを格子状に組み立ててなるものであり、アース電極3により保持される基板16と平行に対面配置されている。

【0060】ラダー電極303には4つの給電点9a、9b₁が設けられている。このうち2つの第1の給電点9aは一方の横方向電極棒305に設けられ、2つの第2の給電点9b₁は他方の横方向電極棒305に設けられている。なお、各給電点9a、9b₁は横方向電極棒305をほぼ三等分するところにそれぞれ位置している。

【0061】2つの第1の給電点9aには分岐する同軸ケーブル8aを介して整合器7a、パワーメータ6a、第1の高周波電源5aがこの順に接続されている。第1の高周波電源5aは周波数60.0MHzの高周波(VHF)を発振する高周波発振器を内蔵しており、2つの第1の給電点9aを介してラダー電極303に周波数60.0MHzの高周波(VHF)パワーが供給されるようになっている。なお、整合器7aから電極側の同軸ケーブル8aは、T分岐プラグを用いて分岐した。

【0062】一方、第2の給電点9b₁には分岐する同軸ケーブル8bを介して整合器7b、パワーメータ6b、第2の高周波電源5bがこの順に接続されている。第2の高周波電源5bは、第1高周波電源5aから独立しており、周波数60.3MHzの高周波(VHF)を発振する高周波発振器を内蔵しており、2つの第2の給電点9b₁を介してラダー電極303に周波数60.3MHzの高周波(VHF)パワーが供給されるよう

になっている。なお、整合器7bから電極側の同軸ケーブル8bは、T分岐プラグを用いて分岐した。

【0063】このように対向する給電点9a, 9b₁を介して互いに異なる周波数の高周波(VHF)をラダー電極303に供給する際に、2つの高周波(VHF)間の周波数の差(本実施例では0.3MHz)が重要である。その効果については後述する。

【0064】本実施例では、ラダー電極303の対向する2本の横方向電極棒305上のそれぞれに、電極全体の中心を中点とする対称的な位置に給電点9a, 9b₁を配置することによって、縦方向電極棒304のそれぞれに1次元的な電圧分布が生じるようにした。これにより後述する定在波を高速で移動させるという現象が見られ、それぞれの縦方向電極棒304上の縦方向のプラズマ生成分布が均一になるとともに、それぞれの縦方向電極棒304相互間のプラズマ生成分布(横方向のプラズマ分布)も均一にすることができた。

【0065】なお、後者の横方向のプラズマ生成分布については、給電点数を上下各2点(総数4点)から、さらに上下各4点(総数8点)、上下各8点(総数16点)と増加させていくことにより、さらにプラズマ生成分布の均一化を図ることができる。

【0066】また、本実施例では2つの電源5a, 5bから上下2点ずつの給電点からそれぞれ給電しているが、電源数を増やすことによりさらにプラズマ生成分布の均一化を図ることができる。例えば、4つの電源から4つの給電点の各々に異なる周波数の高周波(VHF)パワーをそれぞれ供給することにより、さらにプラズマ生成分布の均一性を向上させることが可能である。

【0067】図2は、横軸にラダー電極上の位置(任意値)をとり、縦軸に発光強度(任意値)をとって、本実施例の装置1Aを用いて生成したプラズマの発光強度をCCDカメラにより測定した結果を示す特性線図である。図中にて基板のサイズの内側で3カ所低い値がでているところは装置の構造上から縦方向電極棒の影になってプラズマが見えない箇所にあたり、実際の発光強度分布とは無関係である。この図から明らかなように、装置1Aを用いた高周波プラズマの生成では2m×2m角という非常に大きな領域範囲で、発光分布すなわちプラズマ分布の均一性±7%(最高値127/最小値111)を達成できることが判明した。

【0068】これは、高周波電源1と高周波電源2の周波数差0.3MHzすなわち300kHzによる「ビート」により、電極上に定在波が立たないようにすることができたためと考えられる。もしくは、定在波を1秒間に30万波長分、高速で移動させることができた解釈することもできる。すなわち、非常に短い瞬間で見ると定在波分布が生じているが、これが高速で移動しているために、時間平均で見ると均一な分布となっていると考えられる。

【0069】一方、この周波数差が大きいほど定在波を移動させる速度は速くなるはずであるが、高周波元来の特性を生かした製膜速度や製膜品質を得るためには、製膜速度や製膜品質を得るために必要な高周波の周波数から20%以上異なる周波数を用いることは好ましくない。また、高周波電力の電源への入射防止に用いる整合器が機能するためには、周波数の差は1%以内であることがさらに好ましい。本実施例では周波数の差が0.5%程度であることから、後述するように、製膜速度品質も良く、かつ電源への高周波の入射も100W程度の低い値に抑えることができた。

【0070】次に、a-Si製膜や微結晶Si製膜を以下の手順で行った。

【0071】まず、例えば200℃に設定した基板ヒータ3上にSi薄膜を製膜する2m×2m角サイズの基板16を載置した。ガス供給管17からSiH₄ガスをたとえば流速2000sccmで導入し、さらに微結晶Si製膜の場合には、SiH₄ガスに加えて水素ガスをたとえば50000sccm程度流した。真空排気管に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで反応容器1内の圧力を例えば200mTorrに調節した。

【0072】高周波電力が効率良くプラズマに供給されるように第1及び第2の整合器7a, 7bをそれぞれ調整しつつ、第1高周波電源5aからは周波数60.0MHzの高周波(VHF)電力を供給するとともに、第2高周波電源5bからは周波数60.3MHzの高周波(VHF)電力を供給し、両電源5a, 5bからのパワーを合計すると例えば3000Wとなるように高周波(VHF)電力を供給し、基板16とラダー電極303との間にプラズマを生成させた。プラズマ中ではSiH₄が分解し、基板表面にa-Si膜や微結晶Si膜が製膜された。例えば10分間程度この状態で製膜を行うことにより必要な厚さの膜が製膜された。製膜されたサンプルの膜厚分布を測定し、給電点位置を微調整し、最適な分布が得られるようにした。製膜速度はたとえば微結晶製膜において1.0nm/秒という高速が得られ、均一性は±10%であり、太陽電池用Si薄膜半導体で必要とされる均一性を達成した。

【0073】さらに、できた膜の膜質を測定したところ、例えばラマンピーク比が9:1を越えるなど高品質で、その他、屈折率、分光特性、欠陥密度なども同様に、5cm×5cm程度の小サンプルで同じ60MHzを用いて製膜した場合とほとんど変らなかった。

【0074】これは、定在波の高速な移動によって生じるプラズマのON/OFFが、十分速く、すなわち、周波数差が300kHzであることから、1秒間に30万回×2回ON/OFFが繰り返されるため、一回のOFF時間は 2×10^{-6} 秒以下となり、SiH₃活性分子の消滅寿命($\tau = (2(\text{cm}))^2 / (2 \times 2.5 \times 1$

$0^3 \text{ (cm}^2/\text{秒)}) = 8 \times 10^{-4} \text{ 秒)}$ よりも十分に短く、かつ、水素原子ラジカルの消滅寿命 $1.1 \times 10^{-4} \text{ 秒)}$ よりも十分短いので、製膜現象においてプラズマのON/OFFを実質的に無視できるようになるためと考えられる。

【0075】また、本実施例で得られた更にもう一つの効果は、製膜の際に発生するパーティクルが非常に少ないことである。これは、先行文献(渡辺征夫、白石正治、「高周波変調放電によるシランガス分解」、放電研究No.138、P27-36、1992)に記載されているように、ON時間が1秒以下になるとパーティクルの成長が抑制され、好ましくはON/OFF周波数が1kHz以上すなわちON時間が1ミリ秒以下になると実質的にほとんどパーティクルが発生しないことに起因しているものと考えられる。すなわち、本発明方法ではON時間を 2×10^{-6} 秒以下としていることからパーティクルがほとんど発生しない状態にあると推察することができる。

【0076】なお、詳しい説明と図示は省略するが、逆にOFF時間を長くしてパーティクルの排出に十分に時間をかけてパーティクルを排出し、その増加を防止することもできる。すなわち、基板面積Sが $200 \times 200 \text{ cm}^2$ 、放電電極から基板までの距離 Δx が2cm、体積流量Qが $4 \times 10^5 \text{ cm}^3/\text{秒}$ の処理条件の場合に、これらの数値を下式(8)に代入して原料ガスの放電領域滞在時間 t は0.2秒となる。よって、OFF時間を該時間 t より長い時間、すなわち0.2秒以上に、好ましくは2倍の0.4秒以上にすることによって、プラズマ生成領域からパーティクルを排出し、反応容器内でのパーティクルの増加が抑制されることも確認できた。

$$【0077】t = (S \cdot \Delta x) / Q \quad \dots (8)$$

なお、本実施例では電極にラダー電極を用いた場合を示したが、その代わりにラダー電極の一種である特開平11-111622号公報に報告されている網目状の電極を用いた場合、給電点位置の最適化に手間を要したが、やはり均一性10%を得ることができた。さらに、平行平板電極を用いた場合にも、給電点の最適化の試行錯誤にさらに手間取ったが、均一性12%を得ることができ、ラダー電極のような複雑な電極を用いずにそこそこの均一性が得られた。

【0078】また、本実施例では60MHz付近の周波数の場合を示したが、20MHz付近や200MHz付近でも同様の効果があることを確認した。

【0079】(第2の実施の形態)図3を参照しながら本発明の第2の実施形態に係る装置について説明する。図3は、図1に示した第1実施形態の装置1Aの高周波(VHF)給電回路に変更を加えた第2の実施形態に係る装置1Bの給電回路を示す図である。この給電回路の変更により本実施形態の装置1Bでは上記第1実施形態の装置1Aよりも運転条件範囲を拡大することができるという利点がある。本実施例でも $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 角サイズの

の基板への高周波による均一製膜をおこなうのに用いたもので、電源系以外の反応容器内などの構成は第1の実施の形態と同様であるので、両者が共通する点の説明は省略する。

【0080】本実施形態の装置1Bが第1実施形態の装置1Aと異なる点は、次の①～⑤の5点である。

【0081】①高周波電源の発振周波数について、上記第1実施形態の装置1Aではそれぞれの高周波電源5a、5bに内蔵される水晶発振器が不確かなことを利用して異なる2つの周波数を発生させていた。これに対して本実施形態の装置1Bでは、2波信号発生器20により周波数差を一定値に制御することにしている。前者(装置1A)では、周波数差を任意に選ぶことができず、したがって、例えば周波数差が10Hzしかない2つの組合せになってしまった場合に、定在波は10Hzでしか移動せず、プラズマがその周期でON/OFFしてしまい、製膜に悪影響を与えてしまう。また、発振周波数差が時間的に安定せず、その結果、再現性が低くなるおそれがある。これに対して後者(装置1B)では最適な周波数差に固定して運転することができる。

【0082】②第1実施形態の装置1Aでは、それぞれの高周波電源5a、5bの保護回路(図示せず)も独立であった。これに対して本実施形態の装置1Bでは1つの保護回路22のみを有し、それぞれの電源5a、5bへの入射電力をパワーメータ6a₁、6b₂で測定し、その大きさのいずれか一方が制限値を越えると、両方の電源の出力を制限するようにした。前者(装置1A)の場合、例えば第1電源5aへの入射電力(反射電力と、第2電源5bからの入射電力の和)が、何らかの原因で第1電源5aの許容量を超えて大きくなってしまった場合に、第1電源5aの保護回路は第1電源5aの出力を抑える働きをするが、第2電源5bからの過剰な入射はまったく抑えられずそのままの状態であるので、最悪の場合には第1電源5aが損傷を受けることがある。

【0083】これに対して後者(装置1B)に同じ事象が起これば、第1電源5aへの過剰入力により保護回路22が働いて、第1及び第2電源5a、5bともに出力が抑えられ、第1電源5aへの入射電力は抑えられるので、第1電源5aが損傷することはない。入射電力が抑えられた状態で整合器7bの調整などを行うことにより、第2電源5bからの過剰入力の原因を取り除けば、再び両電源5a、5bの出力をあげることができ、所望の電力を供給することができる。

【0084】なお、本実施形態ではアイソレータ24a、24bを第1及び第2の給電回路にそれぞれ挿入し、通常は過電力が電源5a、5bに入射しないようにしているので、とくに保護回路は必要ない。しかし、反射電力がアイソレータ24a、24bの許容電力を越えてしまい、アイソレータ24a、24bが作動しなくなってしまったような場合に、この保護回路22による保

護動作が必要になる。③第1実施形態の装置1Aでは、第1電源5aに入射する電力（反射電力と、第2電源5bからの入射電力の和）を抑制する手段は整合器7aのみであった。これに対して本実施形態の装置1Bではサーキュレータと負荷からなるアイソレータ24a、24bを挿入することにより、電極303側から電源5a、5bに入射する電力を無くす構成にしている。

【0085】前者（装置1A）では、第1電源5aの出力が電極303から反射されてくる電力は整合器7aで完全にゼロにできたとしても、他の電源すなわち第2電源5bから電極303と整合器7aを通して第1電源5aに入射してくる電力は、位相や周波数が異なるため、同時にゼロにすることはできない。したがって、この電力が大きい場合（プラズマの発生状態などによって電極303を抜けてくる電力は、大きくなったり小さくなったり変動する）、第1電源5aに大きな電力が入射してしまい、第1電源5aの状態を不安定にし、最悪の場合は過剰入力により第1電源5aが壊れてしまう可能性もある。特に、プラズマが生成する前のプラズマ負荷がない場合に、このような状況になりやすい。

【0086】これに対して後者（装置1B）の給電回路にはアイソレータ24a、24bを挿入しているので、電源5a、5bへの入射を負荷で全て吸収することができ、過剰入力による電源5a、5bの破壊が防止される。

【0087】なお、アイソレータ24a、24bを使用する場合、特に本実施例のようなキロワット級の高周波電力を定格値とするアイソレータの周波数帯域幅は非常に狭い。すなわち、高周波電力1kW以下における周波数帯域幅は使用周波数の4%程度であり、高周波電力2kW程度におけるそれは1%程度であることから、第1電源5aと第2電源5bとの周波数の差をこれらの値に抑える必要がある。本実施形態では第1電源5aの発振周波数を60.2MHzに設定し、第2電源5bの発振周波数を59.8MHzに設定したので、両電源5a、5bの発振周波数の差を、2kW定格の場合の周波数帯域幅1%に相当する0.6MHz以内におさめた。

【0088】④第1実施形態の装置1Aでは、一系統にパワーメータ6a、6bを1台ずつ（合計2台）設けたが、これに対して本実施形態の装置1Bでは、一系統に2台ずつパワーメータ6a₁、6a₂、6b₁、6b₂を設けた（合計4台）。給電回路にアイソレータ24a、24bを挿入したので、通常はどんな整合状態にあっても電源5a、5bへの入射電力すなわちパワーメータ6a₁、6a₂における反射電力はゼロである。そこで、整合状態を最適化するためにアイソレータ24a、24bよりも整合器側にパワーメータ6a₂、6b₂を設置し、整合器7a、7bからの戻り電力も測定する必要があるからである。

【0089】⑤第1実施形態の装置1Aでは、整合器7

a、7bより電極側で同軸ケーブル8a、8bを分岐するためにT分岐プラグを用いたが、これに対して本実施形態の装置1Bでは、プラズマ負荷の不均等や、時間変化などがあっても安定な電力分配が行われるように、分配器26a、26bを使用した。

【0090】以上の改善により、入力パワー合計4kWを入力し、製膜速度はたとえば微結晶製膜において1.5nm/秒という高速が得られた。また、膜厚均一性は±10%であった。これは、太陽電池用Si薄膜半導体で必要とされる膜厚均一性をクリアしている。

【0091】（第3の実施の形態）図4を参照しながら本発明の第3の実施形態に係る装置について説明する。図4は、図3に示した第2実施形態の装置1Bの高周波（VHF）給電回路に変更を加えた第3の実施形態に係る装置1Cの給電回路を示す図である。

【0092】装置1Cは、独立の2つ電源5a、5bと、発振器20と、位相検出器30a、30bと、位相シフト器33と、ファンクションジェネレータ34とを備えている。2つ電源5a、5bは、同じ周波数60MHzの高周波（VHF）パワーを電極303にそれぞれ独立に給電するようになっている。位相シフト器33は、発振器20と第2電源5bとの間に挿入され、第2電源5bから給電される高周波の位相をシフトさせるようになっている。これにより第2電源5bから電極303に給電される高周波は第1電源5aから電極303に給電される高周波と同期しなくなり、両電源5a、5bからの給電パワーがシフトされる。ファンクションジェネレータ34は、任意の波形信号を位相シフト器33に発信し、位相差の時間変化を制御するためのものである。

【0093】発振器20から周波数60MHzの高周波（VHF）を発振させると、その一系統はそのまま第1電源5aで増幅され、パワーメータ6a₁、アイソレータ24a、パワーメータ6a₂、整合器7aを介して第1位相検出器30aに送り、位相検出器30aで位相検出を行ってから、分配器26aを介して電極303に供給される。

【0094】発振高周波（VHF）の他の一系統は、位相シフト器33で位相をシフトされ、後は同様に第2電源5b、パワーメータ6b₁、アイソレータ24b、パワーメータ6b₂、整合器7bを介して第2位相検出器30bに送り、位相検出器30bで位相検出を行ってから、分配器26bを介して電極303に供給される。この場合に、位相シフト器33で系統aと系統bとの位相差が時間的に変化するように、ファンクションジェネレータ34が制御する。すなわち位相差の時間変化はファンクションジェネレータ34によって発生させた任意波形信号を位相シフト器33に入力して制御した。位相差は、各分配器30a、30bの直前において各系統a、bの位相を位相検出器26a、26bにより検出

し、検出位相信号を位相シフト器33に送り、フィードバック制御した。

【0095】この実施形態において、一定の位相差に固定して運転すれば定在波が起こってプラズマが不均一になってしまうのに対し、位相差を時間的に変化させることにより、定在波を移動させることができ、製膜時間内の時間平均により均一なプラズマ発生及び製膜膜厚分布を得ることができる。そして、本第3実施形態で使用しているアイソレータ24a、24bと保護回路22は、上記第2の実施形態の装置1Bの場合と同様に電源5a、5bを動作させる際に、電源5a、5bの安定化に寄与する。

【0096】この際、位相差をあまり高速で変調すると、高周波の周波数帯域が広がり、アイソレータ24a、24bの周波数帯域幅を超えてしまい、アイソレータ24a、24bが損傷するなどの可能性がある。そこで、スペクトラムアナライザ（図示せず）を位相検出部30a、30bに接続し、帯域幅を定格である周波数の1%以内になる範囲で変調速度を決定した。

【0097】本実施例ではファンクションジェネレータ34からの位相制御信号の周波数を10kHzとして変調したところ、帯域幅は1%を越えなかった。

【0098】（第4の実施の形態）図5を参照しながら本発明の第4の実施形態に係る装置について説明する。図5は、図1に示した装置1Aの高高周波（VHF）給電回路に変更を加えた第4の実施形態に係る装置1Dの給電回路を示す図である。

【0099】装置1Dは、独立の2つ電源5a、5bと、独立の2つのパワーメータ6a、6bと、ミキサー40と、整合器7と、分配器26とを備えている。本第4実施形態では、まず2台の独立した高周波電源5a、5bからそれぞれ異なる周波数の高高周波（VHF）電力を出力する。この高周波電力をミキサー40で混合し、整合器7および分配器26を介してラダー電極303に供給した。

【0100】本実施形態は、 $\pm 10\%$ 以内の膜厚均一性を得ることができ、単純な給電回路で所期の目的を達することができた。ちなみに本実施形態では、給電点配置の最適化の試行錯誤に手間取り、またミキサー40の定格により電力の最大値を2kWに制限された。

【0101】（第5の実施の形態）図6を参照しながら本発明の第5の実施形態に係る装置について説明する。図6は、図1に示した第1実施形態の装置1Aの高高周波（VHF）給電回路に変更を加えた第5の実施形態に係る装置1Eの給電回路を示す図である。

【0102】装置1Eは、AM変調発振器50と、高周波電源5と、パワーメータ6と、整合器7と、分配器26とを備えている。高周波電源5の高周波を、AM変調発振器50で増幅して得ることにより、キャリア周波数60MHz、変調周波数30MHzのAM変調高周波と

した。これを、パワーメータ6、整合器7、分配器26を介してラダー電極303に給電した。

【0103】本実施形態によれば、簡易な回路で比較的均一な $\pm 15\%$ の膜厚分布を得ることができた。

【0104】（第6の実施の形態）S. Samukawa, "Role of Negative Ions in High-Performance Etching Using Pulse-Time-Modulated Plasma", Extended Abstract of 4th International Conference on Reactive Plasmas, SR 1.04, pp.415, 1998.にあるように、ハロゲン系のガス、例えば、塩素系のガスを用いてプラズマを発生させ、塩素負イオン（ Cl^- ）を発生させて半導体のエッチングに用いる場合、従来は、高周波電源から発生する電力をON/OFFすることにより、プラズマを発生、消滅させプラズマが消滅する際に電子付着効果により大量に塩素負イオンが発生することと、基板表面に生じる壁電荷が消滅する効果を用いてエッチングの高速化、高品質化を図っている。本実施例ではこの効果を定在波を移動することによって生じさせることを狙っている。図3に示した第2の実施形態の装置1Bを用いて、2つの異なる周波数の差を4kHzとし、ハロゲン系のガス、例えば、塩素系のガスを用いてプラズマを発生させ、塩素負イオン（ Cl^- ）を発生させ、半導体のエッチングを行った。この時、定在波の膜の部分ではプラズマがONの状態、節の部分ではプラズマがOFFの状態になるので定在波を高速で移動させることにより高効率で大量にかつ簡単に塩素負イオンを発生させエッチングを高速で行うことができる。

【0105】定在波を移動させる速度、すなわち、位相の変化周期は、前記参考論文に示されている塩素負イオンの発生時間約100 μ 秒より長く、2倍以上4倍以下になるように、250 μ 秒程度とした。このとき、プラズマOFFの時間が125 μ 秒程度となり、十分な負イオン発生が得られる。これは周波数の差を4kHzにすることにより実現できる。

【0106】さらに、高周波の周波数に60MHzを用いることによって従来法で用いられる13.56MHzとくらべてプラズマ密度が高くなると同時にプラズマシース厚さが薄くなることにより、プラズマ中で発生する大量の塩素負イオンが効率的に基板面に流入し、エッチング速度がさらに速くなる効果が得られる。これらの結果、従来の13.56MHz単一周波数を用いた場合の4倍程度のエッチング速度が得られた。本実施形態は、シリコン薄膜などの製膜に用いる反応容器のプラズマによる洗浄、いわゆるセルフクリーニングなどの表面処理方法にも応用することができる。

【0107】（第7の実施の形態）図7を参照しながら本発明の第7の実施形態に係る装置について説明する。図7は、図1に示した装置1Aの給電点および高周波周波数に変更を加えた第7の実施形態に係る装置1Fの給電回路を示す図である。

【0108】装置1Fは、周波数60.00MHzの高周波を供給する第1電源5aと、周波数13.56MHzの高周波を供給する第2電源5bと、アース電極3に取り付けられた2つの給電点9b₁、9b₂とを備えている。

【0109】本実施形態をハロゲン系ガスNF₃によるシリコン膜のエッチングに適用したところ、60MHzの高周波による高密度性と、13.56MHzによる基板バイアス効果、さらに、両者の周波数の差による定在波の抑制効果により、1m×1mの大面积に均一に、かつ高速なエッチング速度(10nm/秒程度)が得られた。

【0110】本実施形態は、シリコン薄膜などの製膜に用いる反応容器のプラズマによる洗浄、いわゆるセルフクリーニングなどの表面処理方法にも応用することができる。

【0111】なお、上記1～7の実施形態では主に4点給電方式の例について説明したが、本発明はこれのみに限られることなく、2点給電方式、6点給電方式、8点給電方式、10点給電方式、12点給電方式など他の多点給電方式にも適用することができる。

【0112】

【発明の効果】本発明によれば、大面积の製膜およびエッチング処理等に高周波(VHF)を用いて1m×1mをも越えるような非常に大きな基板や表面に対し、均一な処理を行うことができる。プラズマCVD製膜等においては高周波であるにも拘わらず広範囲にわたるプラズマ密度を均一化できる高周波プラズマ生成方法、半導体製造方法および表面処理方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の高周波電源回路および反応容器を示す構成ブロック図。

【図2】第1の実施形態により得られた2m×2mサイズ基板の処理を目的としたプラズマ発光強度分布の均一性を測定した結果を示す特性線図。

【図3】本発明の第2の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の高周波電源回路を示す構成ブロック図。

【図4】本発明の第3の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の高周波電源回路を示す構成ブロック図。

【図5】本発明の第4の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の高周波電源回路を示す構成ブロック図。

【図6】本発明の第5の実施形態に係る放電電極への給

電方法に用いた装置の高周波電源回路を示す構成ブロック図。

【図7】本発明の第7の実施形態に係る放電電極への給電方法に用いた装置の高周波電源回路を示す構成ブロック図。

【図8】従来の平行平板電極の裏側中央の1点に給電する方式のPCVD装置を示す断面ブロック図。

【図9】従来のラダー電極の4点に給電する方式のPCVD装置を示す断面ブロック図。

【図10】図9の従来装置を別の方向から見た図。

【図11】100MHzで電極の1点に給電したときの電圧分布およびイオン飽和電流分布をそれぞれ示す特性線図。

【図12】60MHzおよび100MHzでラダー電極に4点給電したときの電圧分布を示す特性線図。

【図13】100MHzで平行平板電極の一端をリアクタンスで終端したときの電圧分布を示す特性線図。

【符号の説明】

1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F…プラズマCVD装置、

2…反応容器、

3…アース電極(基板ヒータ)、

5a, 5b…高周波電源、

6a, 6a₁, 6a₂, 6b, 6b₁, 6b₂…パワーメータ、

7a, 7b…整合器、

8a, 8b…同軸ケーブル、

9, 9a, 9b₁, 9b₂…給電点、

16…基板、

17…ガス供給管、

18…排気管、

20…発信器、

22…保護回路、

24a, 24b…アイソレータ、

26, 26a, 26b…分配器、

30a, 30b…位相検出器、

33…位相シフト器、

34…ファンクションジェネレータ、

40…ミキサー、

50…AM変調発振器、

100…平行平板電極型プラズマCVD装置、

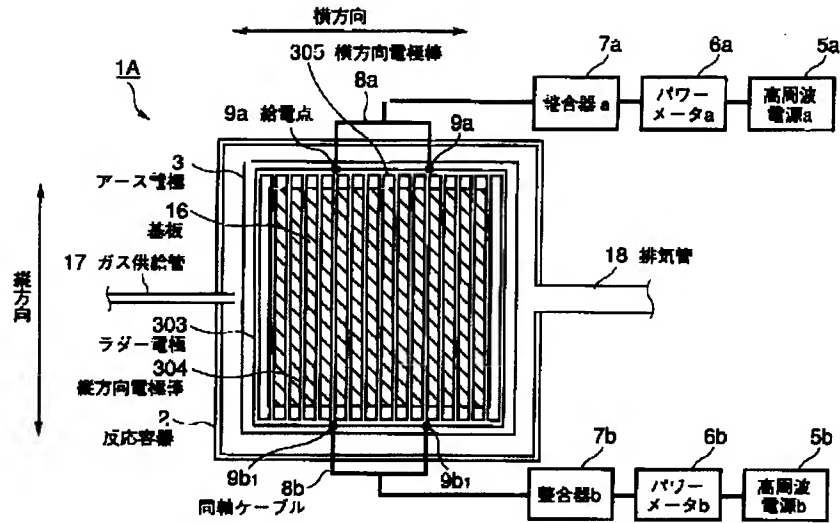
110…ラダー電極型プラズマCVD装置、

303…ラダー電極、

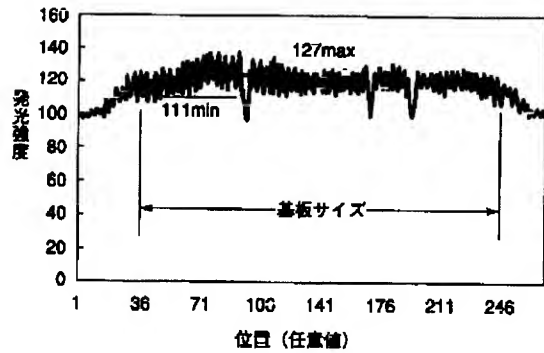
304…縦方向電極棒、

305…横方向電極棒。

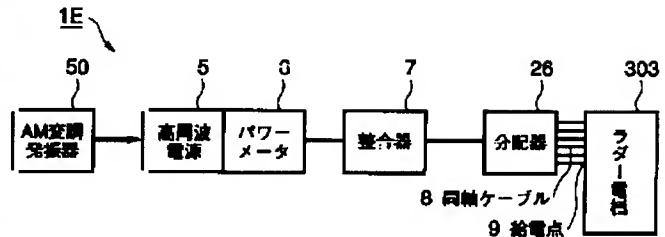
【図1】



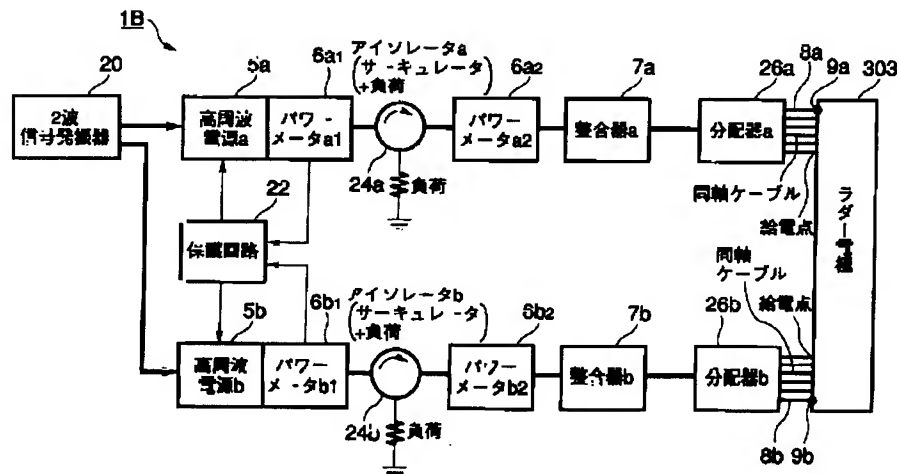
【図2】



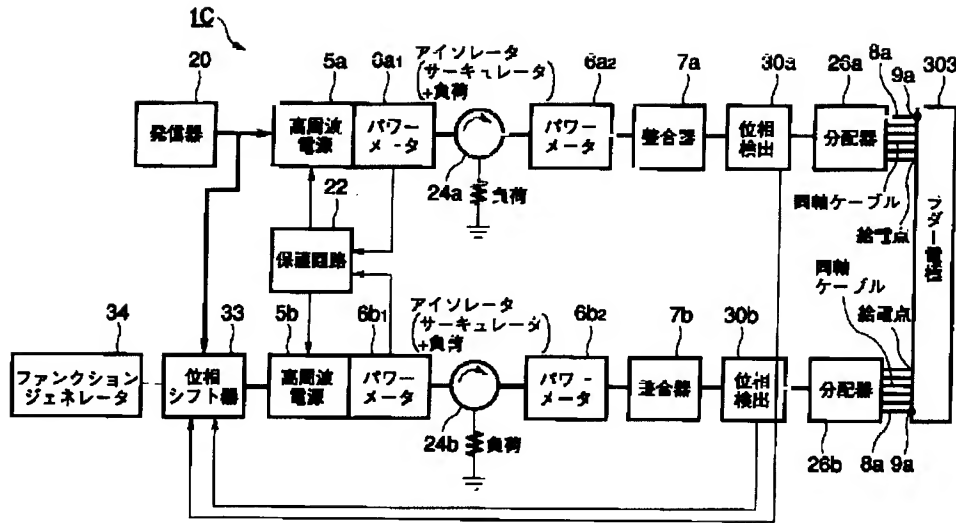
【図6】



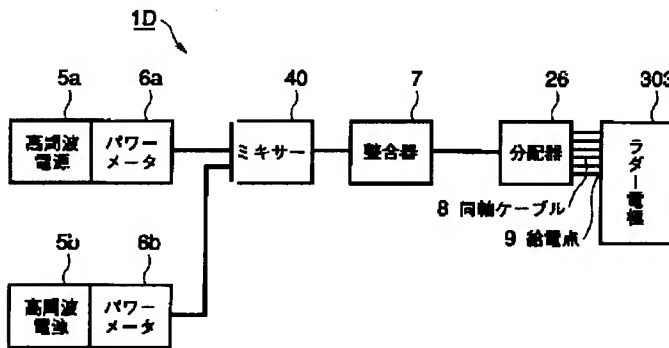
【図3】



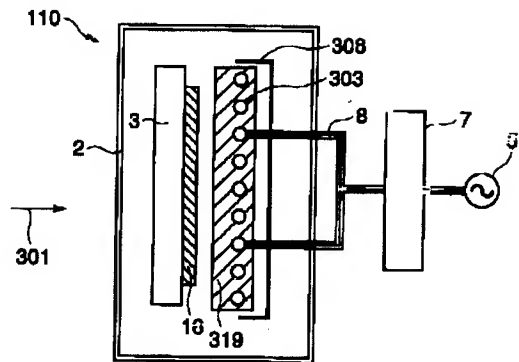
【図4】



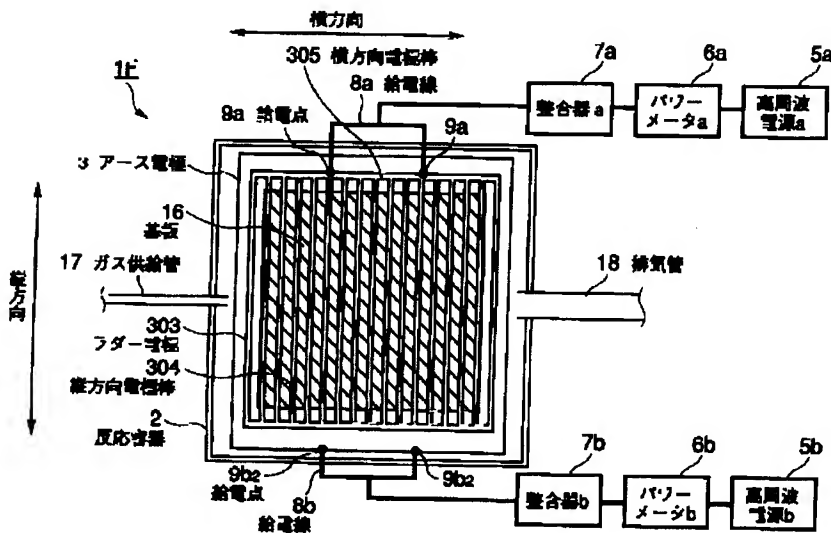
【図5】



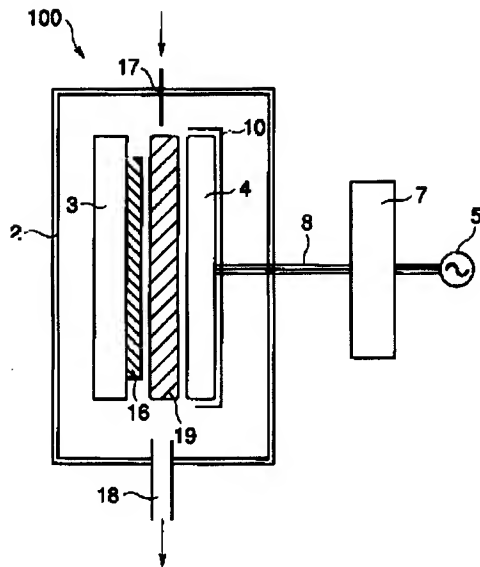
【図9】



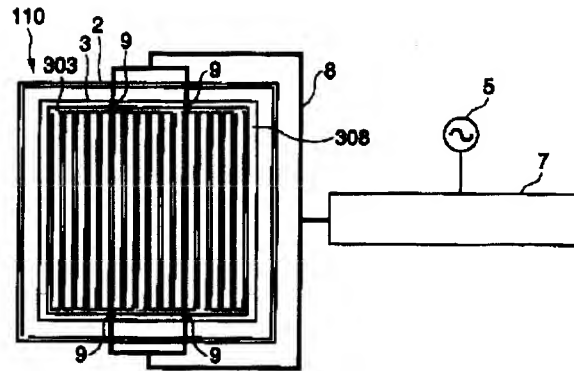
【図7】



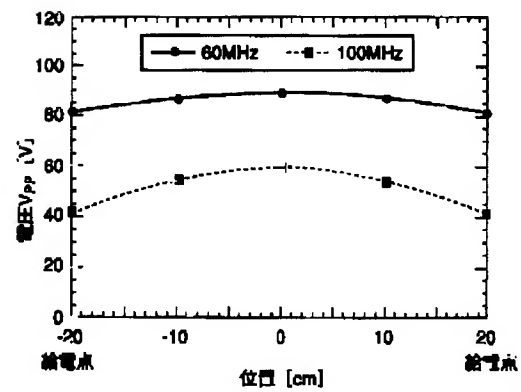
【図8】



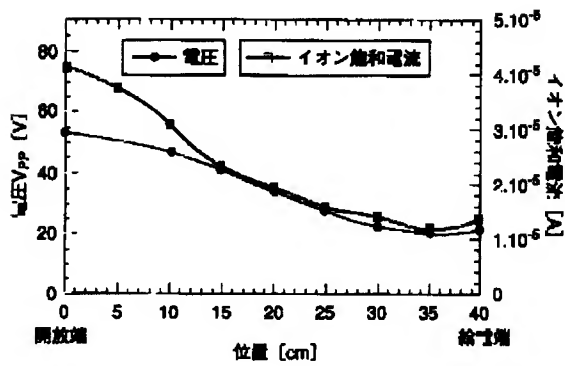
【図10】



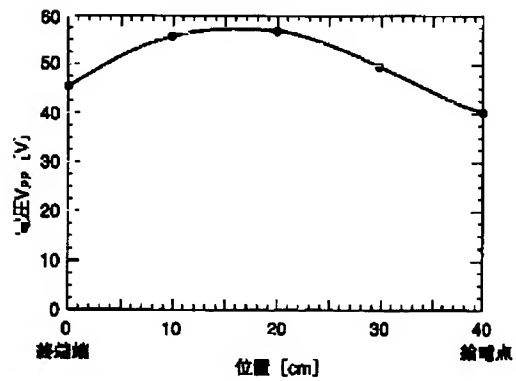
【図12】



【図11】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 良昭
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三
菱重工業株式会社長崎研究所内
(72)発明者 真島 浩
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三
菱重工業株式会社長崎研究所内
(72)発明者 青井 辰史
長崎県長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工
業株式会社長崎造船所内

(72)発明者 村田 正義
長崎県長崎市深堀町五丁目717番地1 長
菱エンジニアリング株式会社内
Fターム(参考) 4K030 AA06 AA17 BA30 CA12 DA03
DA04 FA01 FA03 JA03 JA11
JA18 KA15 KA17 KA18 KA30
KA41
5F004 AA01 BA06 BB11 BB13 CA03
5F045 AA08 AB03 AB04 AB33 BB02
BB15 CA13 EH04 EH13 EH19
GB15

中華民國專利公報 [19] [12]

[11]公告編號：507256

[44]中華民國 91 年 (2002) 10 月 21 日

發明

全 31 頁

[51] Int.Cl.⁰⁷ : H01L21/00

[54]名 稱：放電電漿產生方法，放電電漿產生裝置，半導體裝置製造方法及半導體裝置製造裝置

[21]申請案號：090100208 [22]申請日期：中華民國 90 年 (2001) 01 月 04 日

[30]優先權：[31]2000-069044 [32]2000/03/13 [33]日本
[31]2000-085281 [32]2000/03/24 [33]日本

[72]發明人：

山越 英男	日本	真島 浩	日本
佐竹 宏次	日本	青井 辰史	日本
竹內 良昭	日本	村田 正義	日本

[71]申請人：

三菱重工業股份有限公司 日本

[74]代理人：陳長文 先生

1

2

[57]申請專利範圍：

1.一種放電電漿產生方法，包括以下步驟：

(a)在一真空反應室之要處理基板中相對具有一實質平面放電部分之放電電極，俾該放電電極與該基板實質互相平行；

(b)將該真空反應室抽真空及供應一處理氣體至該放電電極與該基板間之空間；及

(c)向該放電電極施加高頻功率俾一封包根據包括時間作為一參數之函數，表示該放電電極上一高頻電壓 ϕ 之空間分布在一分割秒變化，藉以在該放電電極與該基板之間產生處理氣體之放電電漿，且在該放電電極上實質不產生高頻電壓 ϕ 之駐波。

2.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括使用複數個高頻電源以使封包根據包括時間為參數之函數

而一直改變。

3.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括：

連接複數個電源用以獨立振盪高頻至該放電電極；及
5. 從各該電源供應高頻功率至該放電電極。

4.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括：

連接複數個電源至該放電電極；及
10. 從該複數個電源供應具有不同頻率之高頻功率分量至該放電電極。

5.如申請專利範圍第2項之方法，其中不同振盪頻率間之差不大於各電源振盪頻率之 20%。

6.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括連接複數個電源至該放電電極，及一直改變一差其在從該複數個電源之一供應之高頻相位與
20. 從至少一其他電源供應之高頻相位

- 之間。
- 7.如申請專利範圍第6項之方法，其中步驟(c)包括使用相移器作為改變相差之裝置。
 - 8.如申請專利範圍第7項之方法，其中該相移器插入一高頻振盪器與一放大器之間，該高頻振盪器決定一高頻信號之振盪頻率，而該放大器放大該高頻振盪器之高頻信號。
 - 9.如申請專利範圍第1項之方法，其中使用複數個饋入點以饋入功率至該放電電極，該複數個饋入點接到該放電電極，俾對稱於該放電電極之中心線或中心點。
 - 10.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括使用一阻抗匹配電路以匹配該放電電極之阻抗與各電源之阻抗，及插入一隔離器在該阻抗匹配電路與該電源之間以減少從另一電源輸入高頻功率至該電源，因而保護該電源。
 - 11.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括使用第一及第二電源，從該第一電源供應具有一第一頻率之高頻功率至該放電電極，及從該第二電源供應具有一第二頻率之高頻功率至該放電電極，俾第一與第二頻率間之差不大於第一與第二頻率之平均值之4%。
 - 12.如申請專利範圍第11項之方法，其中差不大於第一與第二頻率之平均值之1%。
 - 13.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括根據通該放電電極射入另一電源之高頻功率大小，而從一電源限制一輸出。
 - 14.如申請專利範圍第2項之方法，其中步驟(c)包括插入一高頻混合器在該複數個電源與該放電電極之間，藉由該高頻混合器而從該複數個電

- 源混合高頻功率分量，及供應混合高頻功率至該電極。
- 15.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括藉由執行AM調幅，FM調頻，或高頻波不穩供該電源振盪之高頻功率，而改變該放電電極上產生之封包各一小時。
 - 16.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括先測量相對於頻差，各頻率值，相差，或AM調幅，FM調頻，或頻率不穩之範圍之電壓分布，電漿產生密度分布，基產生密度分布，膜沈積分布，蝕刻分布，及半導體膜特性分布其中至少一者之複數個值，及藉由調整至少一時間，時段，及電源至該放電電極之頻率相對於特定頻差，各頻率值，相差，或AM調幅，FM調頻，或頻率不穩之範圍其中至少一者，而根據測量結果之時間平均或時間精分而得到一均勻分布。
 - 17.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期比產生電漿中活化原子，活化分子或離子之生命期短。
 - 18.如申請專利範圍第17項之方法，其中週期不大於產生電漿中活化原子，活化分子或離子之一半生命期。
 - 19.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期比一 SiH_3 活化分子之至少一生命期 τ 短， τ 由以下求出：

$$\tau \text{ 約等於 } (\Delta x)^2 / (2D)$$
 其中D是擴散係數($= 2.5 \times 10^3 (\text{cm}^2/\text{sec})$)
 Δx ：從一放電電極至基板之距離(cm)

- 而氫原子基之生命期 $1.1 \times 10^{-4}\text{sec}$ 。
- 20.如申請專利範圍第19項之方法，其中週期不大於 τ 之一半，或不大於 $1.1 \times 10^{-4}\text{sec}$ 之一半。
- 21.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期大於，且不大於產生電漿中活化原子，活化分子或離子之產生生命期之10倍。
- 22.如申請專利範圍第21項之方法，其中週期係產生電漿中活化原子，活化分子或離子之產生生命期之2至4倍。
- 23.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括將封包分布改變導致之電漿ON/OFF頻率設定在0.5Hz(含)至100kHz(含)範圍中，即導致之電漿ON時間在0.01msec(含)至1sec(含)範圍中。
- 24.如申請專利範圍第23項之方法，其中ON/OFF頻率不大於10kHz，即電漿ON時間不大於0.1msec。
- 25.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期大於一源氣體之放電區域停留時間 t 其由以下求出：
 t 約等於 $(S, \Delta x)/Q$
 其中 S ：一基板面積(cm^2)
 Δx ：從一放電電極到一基板之距離(cm)
 Q ：一體積流率(cm^3/sec)。
- 26.如申請專利範圍第25項之方法，其中週期不大於停留時間 t 之二倍。
- 27.如申請專利範圍第1項之方法，其中該放電電極係一梯狀電極或一網狀電極。
- 28.如申請專利範圍第1項之方法，其中該放電電極係一板狀電極，而一板狀反電極用以支撐該基板及該放電電極則實質互相平行排列。

- 29.如申請專利範圍第2項之方法，包括一第一電源用以供應高頻功率至該放電電極，及一第二電源用以供應高頻功率至該反電極。
5. 30.如申請專利範圍第1項之方法，其中高頻功率之頻率係10至800MHz。
- 31.如申請專利範圍第2項之方法，其中該複數個高頻電源振盪之頻差係0.1至10.0MHz。
10. 32.如申請專利範圍第31項之方法，其中該差係1.5至6.0MHz。
- 33.如申請專利範圍第1項之方法，其中該放電電極從一入射點至一高頻反射點之長度 $L(\text{cm})$ 滿足
 $2 \times 10^3/f \leq L \leq 20 \times 10^3/f$
 其中 f 表示一VHF(MHz)。
15. 34.如申請專利範圍第33項之方法，其中該放電電極之長度 L 下限係 $4 \times 10^3/f$ 。
20. 35.如申請專利範圍第1項之方法，其中步驟(c)包括區域供應至少一型氣體，其選自由氫，氫，氖，氦，及氬組成之群，至該饋入點或至需要抑制沈積之部分，因而在該饋入點或部分抑制膜形成分量之沈積及粒子產生。
25. 36.一種半導體裝置製造方法，包括以下步驟：
 (a)將要處理之基板載入真空反應室及將該基板置入一加熱電極，俾具有一實質平面放電部分之放電電極與該基板係實質互相平行；
 (b)將該真空反應室抽真空，供應一處理氣體至該放電電極與該基板間之空間，及藉由該加熱電極而加熱該基板；及
 (c)向該放電電極施加高頻功率俾一封包根據包括時間作為一參數之函數，表示該放電電極上一高頻電壓 ϕ 之空間分布在每一小時變化，藉
30. 35. 40.

以在該放電電極與該基板之間產生處理氣體之放電電漿，且在該放電電極上實質不產生高頻電壓 ϕ 之駐波。

37.如申請專利範圍第36項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期比產生電漿中活化原子，活化分子或離子之生命期短。

38.如申請專利範圍第37項之方法，其中週期不大於產生電漿中活化原子，活化分子或離子之一半生命期。

39.如申請專利範圍第36項之方法，其中步驟(c)包括使封包分布改變導致之電漿ON/OFF週期比一 SiH_3 活化分子之至少一生命期 τ 短， τ 由以下求出：

τ 約等於 $(\Delta x)^2/(2D)$

其中 D 是擴散係數 $(= 2.5 \times 10^3(\text{cm}^2/\text{s}^{-1}))$

Δx ：從一放電電極至基板之距離 (cm)

而氫原子基之生命期 $1.1 \times 10^{-4}\text{sec}$ 。

40.如申請專利範圍第39項之方法，其中週期不大於 τ 之一半，或不大於 $1.1 \times 10^{-4}\text{sec}$ 之一半。

41.如申請專利範圍第36項之方法，其中步驟(c)包括區域供應至少一型氣體，其選自由氫，氫，氖，氦，及氬組成之群，至一饋入部分或至需要抑制沈積之部分，該饋入部分係該放電電極接收一電源之高頻功率之部分。

42.如申請專利範圍第36項之方法，其中該放電電極具有不小於 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 之大小，該基板由玻璃製造，及步驟(c)包括藉由該加熱電極而加熱該基板到 80°C 至 350°C 之溫度。

43.如申請專利範圍第36項之方法，其中該放電電極具有不小於 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 之大小，該基板由金屬製造，及步驟(c)包括藉由該加熱電極而加熱該基板到 80°C 至 500°C 之溫度。

44.如申請專利範圍第36項之方法，其中該放電電極具有不小於 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 之大小，該基板由樹脂製造，及步驟(c)包括藉由該加熱電極而加熱該基板到 80°C 至 200°C 之溫度。

45.如申請專利範圍第36項之方法，其中步驟(c)包括將複數個高頻間之差設定在 0.1 至 10.0MHz 。

46.如申請專利範圍第36項之方法，其中步驟(c)包括將複數個高頻間之差設定在 1.5 至 6.0MHz 。

47.一種放電電漿產生裝置，包括：

一室；

一基板裝在桌上用以支撐該室中之基板；

一放電電極與該室中該基板桌上之基板相對；

排氣裝置用以將該室抽真空；

氣體供應裝置用以供應一處理氣體至該室；

一高頻電源電路用以供應高頻功率至該放電電極；及

控制裝置用以控制從該高頻電源電路至該放電電極之電源，俾一封包根據包括時間作為一參數之函數，表示該放電電極上一高頻電壓 ϕ 之空間分布在各小時變化。

48.如申請專利範圍第47項之裝置，其中該高頻電源電路包括：

一單一高頻振盪器經由複數個饋入點而與該放電電極連接；

一分布器插入該高頻振盪器與該放電電極之間藉由該高頻振盪器分布

高頻功率至該複數個饋入點；及
複數個放大器插入該分布器與該放電電極之間以放大器該分布器分布之高頻功率分量。

49.如申請專利範圍第47項之裝置，其中該高頻電源電路包括：

複數個高頻振盪器經由複數個饋入點而連接該放電電極以獨立振盪高頻；及

一放大器插入各該複數個高頻振盪器與該放電電極之間以放大器振盪頻率。

50.如申請專利範圍第48項之裝置，其中該高頻電源電路更包括：

複數個阻抗匹配電路插入該複數個高頻振盪器與該放電電極之間，以匹配該複數個高頻振盪器之阻抗與該放電電極之阻抗；及

一隔離器插入各阻抗匹配電路及各高頻振盪器之間以減少另一高頻振盪器之高頻功率輸入該高頻振盪器，以保護該高頻振盪器。

51.如申請專利範圍第48項之裝置，其中該高頻電源電路包括一相移器插入該複數個高頻振盪器與至少一放大器之間以移動該高頻振盪器振盪之高頻信號相位。

52.如申請專利範圍第47項之裝置，其中該高頻電源電路包括：

複數個高頻振盪器經由複數個饋入點而連接該放電電極；及

一高頻混合器插入該複數個高頻振盪器與該放電電極之間，以混合該複數個高頻振盪器振盪之高頻信號。

53.如申請專利範圍第52項之裝置，更包括一放大器插入該高頻混合器與該放電電極之間以放大器該高頻混合器混合之高頻信號。

54.如申請專利範圍第47項之裝置，其

中該高頻電源電路包括一隨意波形產生器用以振盪具有複數個頻率分量之多重高頻，俾該放電上之封包分布每小時改變。

5. 55.如申請專利範圍第47項之裝置，其中該放電電極具有一梯狀，網狀，桿狀，或矩形板狀；及該高頻電源電路包括複數個饋入點相對於該放電電極之中心線而對稱。

10. 56.如申請專利範圍第47項之裝置，其中該放電電極具有一圓板狀；及該高頻電源電路包括複數個饋入點相對於該放電電極之中心點而對稱。

57.一種半導體裝置製造裝置，包括：

15. 一室；

一基板裝在桌上用以支撐該室中之基板；

一放電電極與該室中該基板桌上之基板相對；

20. 排氣裝置用以將該室抽真空；

氣體供應裝置用以供應一處理氣體至該室；

一高頻電源電路用以供應高頻功率至該放電電極；及

25. 控制裝置用以控制從該高頻電源電路至該放電電極之電源，俾一封包根據包括時間作為一參數之函數，表示該放電電極上一高頻電壓 ϕ 之空間分布在各小時變化，

30. 其中該氣體供應裝置供應一膜形成氣體至該室，及該控制裝置控制從該高頻電源電路至該放電電極之高頻功率供應，因而在該放電電極與該基板之間產生膜沈積氣體之放電電漿，在該放電電極上實質不產生高頻電壓 ϕ 之駐波。

58.一種半導體裝置製造裝置，包括：

一室；

一基板裝在桌上用以支撐該室中之基板；

40.

一放電電極與該室中該基板桌上之基板相對；
 排氣裝置用以將該室抽真空；
 氣體供應裝置用以供應一蝕刻氣體至該室；
 一高頻電源電路用以供應高頻功率至該放電電極；及
 控制裝置用以控制從該高頻電源電路至該放電電極之電源，俾一封包根據包括時間作為一參數之函數，表示該放電電極上一高頻電壓 ϕ 之空間分布在各小時變化，其中該氣體供應裝置供應一蝕刻氣體至該室，及該控制裝置控制從該高頻電源電路至該放電電極之高頻功率供應，因而在該放電電極與該基板之間產生蝕刻氣體之放電電漿，在該放電電極上實質不產生高頻電壓 ϕ 之駐波。

圖式簡單說明：

圖1A是示意圖以說明習用方法將電送入電極時的高頻電流，而圖1B是示意圖以說明另一習用方法將電送入電極時的高頻電流；

圖2A，2B的圖形說明駐波，其從雙輸出變相位高頻振盪器的雙輸出高頻而產生，藉由習用方法而以電極的0度相差而饋入；

圖3的圖形顯示電壓分布及離子飽和電流分布，導因於100MHz高頻饋入一電極點時產生的駐波；

圖4的圖形顯示形成在梯狀電極的電壓分布，這是當使用一習用四點饋入法而將60到100MHz的高頻饋入時；

圖5的圖形顯示形成在平行板電極的電壓分布，這是當使用一習用饋入法，其中電極的一端被無損電抗(線圈)中斷，將100MHz的高頻電源饋入電極時；

圖6A的圖形顯示膜厚分布與電源頻率之間的關係，這是使用習用方法在基板(500mm × 500mm)上形成膜時，而圖6B的圖形顯示膜厚分布與電源頻率之間的關係，這是使用習用方法在基板(1,000mm × 1,000mm)上形成膜時；

圖7A是高頻波的波形 ϕ_1 ，圖7B是高頻波的波形 ϕ_2 ，而圖7C是合成波 ϕ 的波形及封包的圖形；

圖8的方塊圖顯示根據本發明第一實施例的放電電漿產生裝置；

圖9的圖形顯示第一實施例方法產生的電漿的發射強度分布的測量結果；

圖10A至10C是三維圖形各顯示電極的橫向及縱向中放電電極的幅度分布；

圖11A的圖形顯示至饋入分布中心的距離與前進波電壓幅度指數之間的關連，及反射點與反射波電壓幅度指數之間的位置關連，圖11B的圖形顯示至饋入分布中心的距離與駐波電壓幅度指數之間的關連，而圖11C的圖形顯示至饋入分布中心的距離關連，這是從電極的二端供電時，及合成波電壓幅度指數；

圖12的圖形顯示從饋入分布中心距離與高頻之間的關連，這是高頻衰減成某一值之前；

圖13的圖形顯示2個頻率之間的差與膜厚分布(膜厚變化)之間的關連；

圖14的方塊圖顯示根據本發明第二實施例(或13實施例)的放電電漿產生裝置；

圖15的方塊圖顯示一裝置的饋入電路用於根據本發明第三實施例向放電電極供電的方法中；

圖16是一部分放大圖其饋入端接到電極；

圖 17 的剖面圖放大的顯示一部分，其饋入端接到電極；

圖 18 的三維圖形顯示在相差 0 度之下膜的形成率分布；

圖 19 的三維圖形顯示在相差 90 度之下膜的形成率分布；

圖 20 的時序圖顯示相移器相差的控制圖案以得到均勻分布；

圖 21 的方塊圖顯示根據本發明第 4 實施例的放電電漿產生裝置；

圖 22 的方塊圖顯示根據本發明第 5 實施例的放電電漿產生裝置；

圖 23 的方塊圖顯示根據本發明第 6 實施例的放電電漿產生裝置的饋入電路；

圖 24 的方塊圖顯示根據本發明第 7 實施例的放電電漿產生裝置的饋入電路；

圖 25 的方塊圖顯示根據本發明第 8 實施例的放電電漿產生裝置的饋入電路；

圖 26A 的圖形顯示頻譜分布的範例，用以產生一隨意波長以實施一方法(雙頻方法)藉由使用隨意波形產生器而應用至少 2 個高頻到相同電極，圖 26B 的圖形顯示隨意波形產生器產生的電壓中的暫時變化的封包，其根據頻譜分布而產生；

圖 27 的方塊圖顯示根據本發明第 9 實施例的放電電漿產生裝置；

圖 28 的方塊圖顯示根據本發明第 10 實施例的放電電漿產生裝置；

5. 圖 29 的剖面圖顯示第 10 實施例的裝置；

圖 30 的立體圖顯示第 10 實施例的裝置；

10. 圖 31 的方塊圖顯示根據本發明第 11 實施例的放電電漿產生裝置的饋入電路；

圖 32 的方塊圖顯示根據本發明第 12 實施例的放電電漿產生裝置；

15. 圖 33 的方塊圖顯示根據本發明第 14 實施例的放電電漿產生裝置；

圖 34 的方塊圖顯示根據本發明第 15 實施例的放電電漿產生裝置的饋入電路；

20. 圖 35 的剖面圖顯示用於比較例 1 方法中的產生概要；

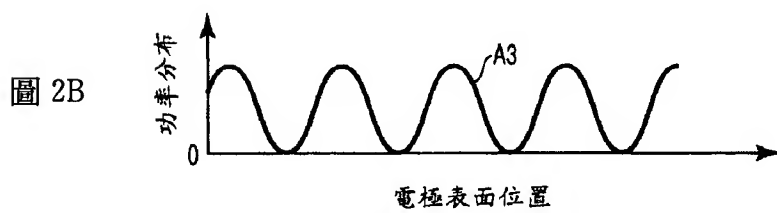
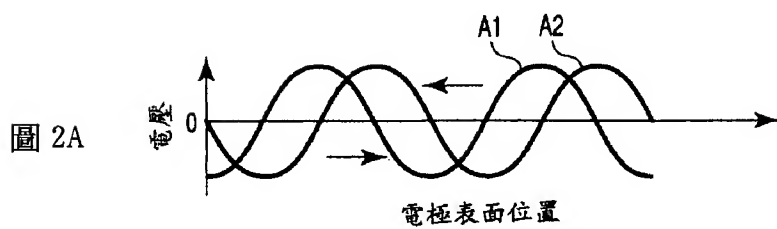
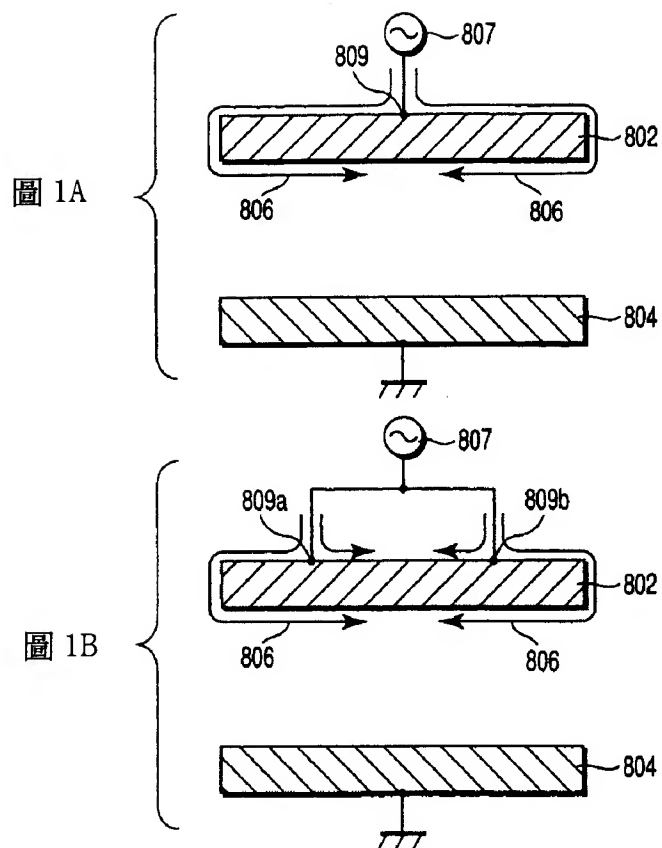
圖 36 的剖面圖顯示用於比較例 2 方法中的產生概要；

25. 圖 37 的立體圖顯示圖 36 中產生的電源分布器；

圖 38 的剖面圖顯示用於比較例 3 方法中的產生概要；及

圖 39 的平面圖顯示圖 38 中產生的放電電極及饋入方法的概要。

(8)



(9)

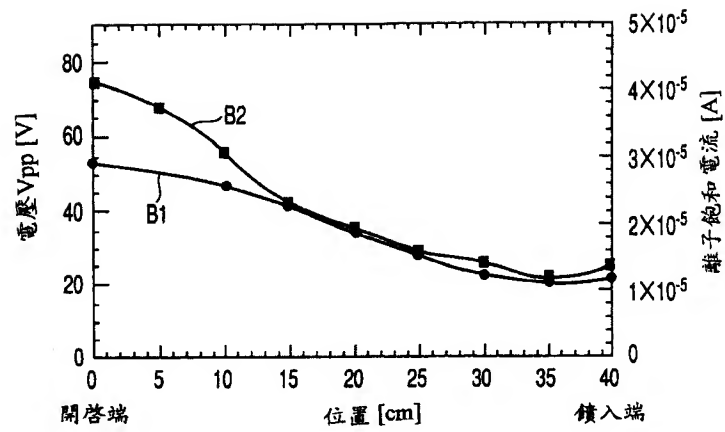


圖 3

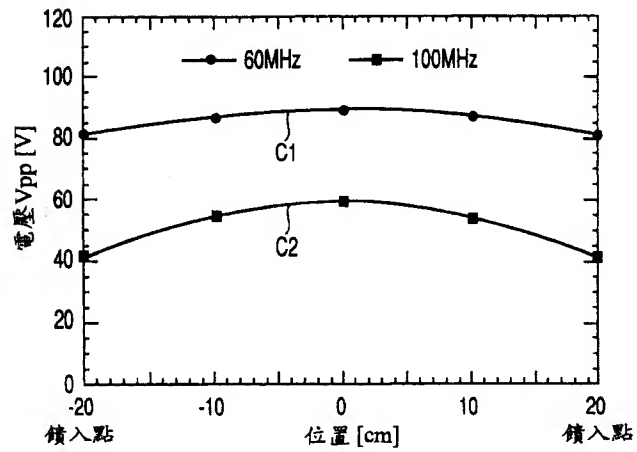


圖 4

(10)

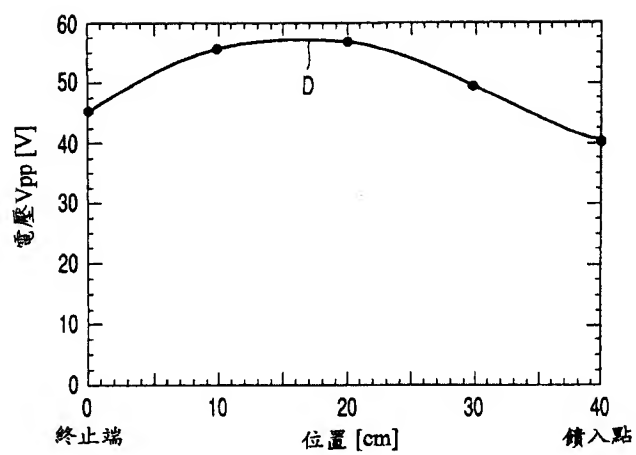


圖 5

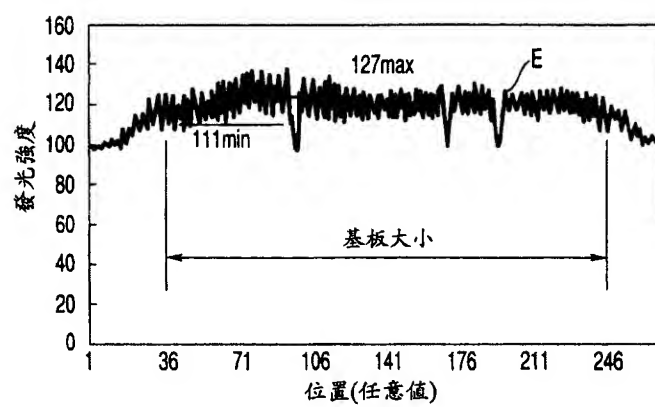


圖 9

(11)

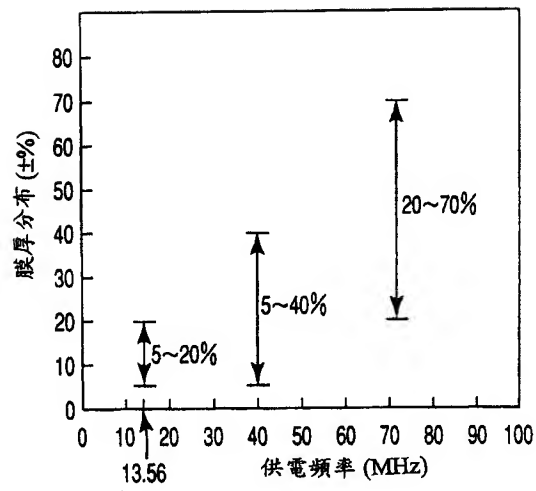


圖 6A

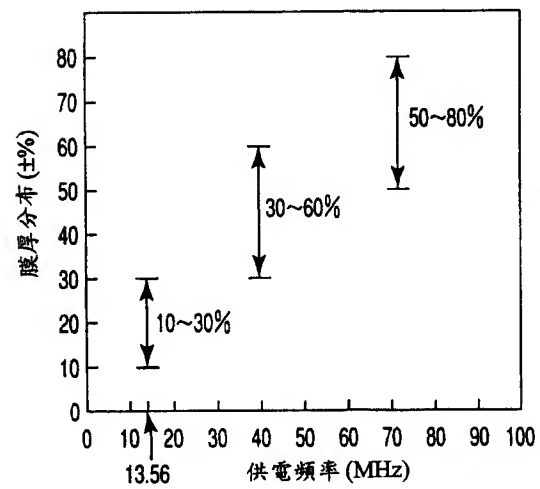


圖 6B

(12)

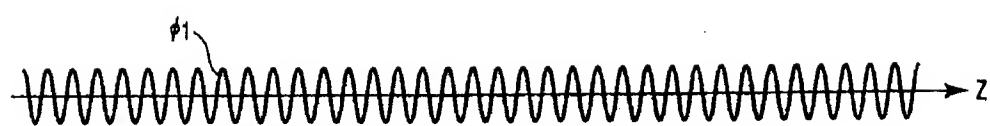


圖 7A

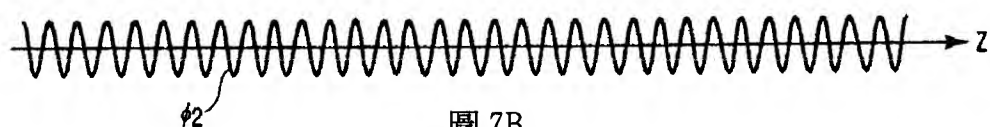


圖 7B

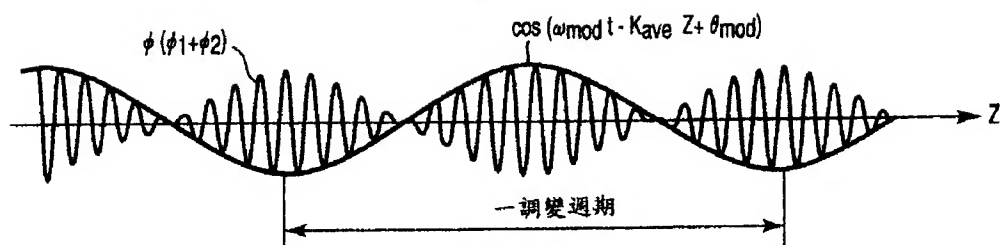


圖 7C

(13)

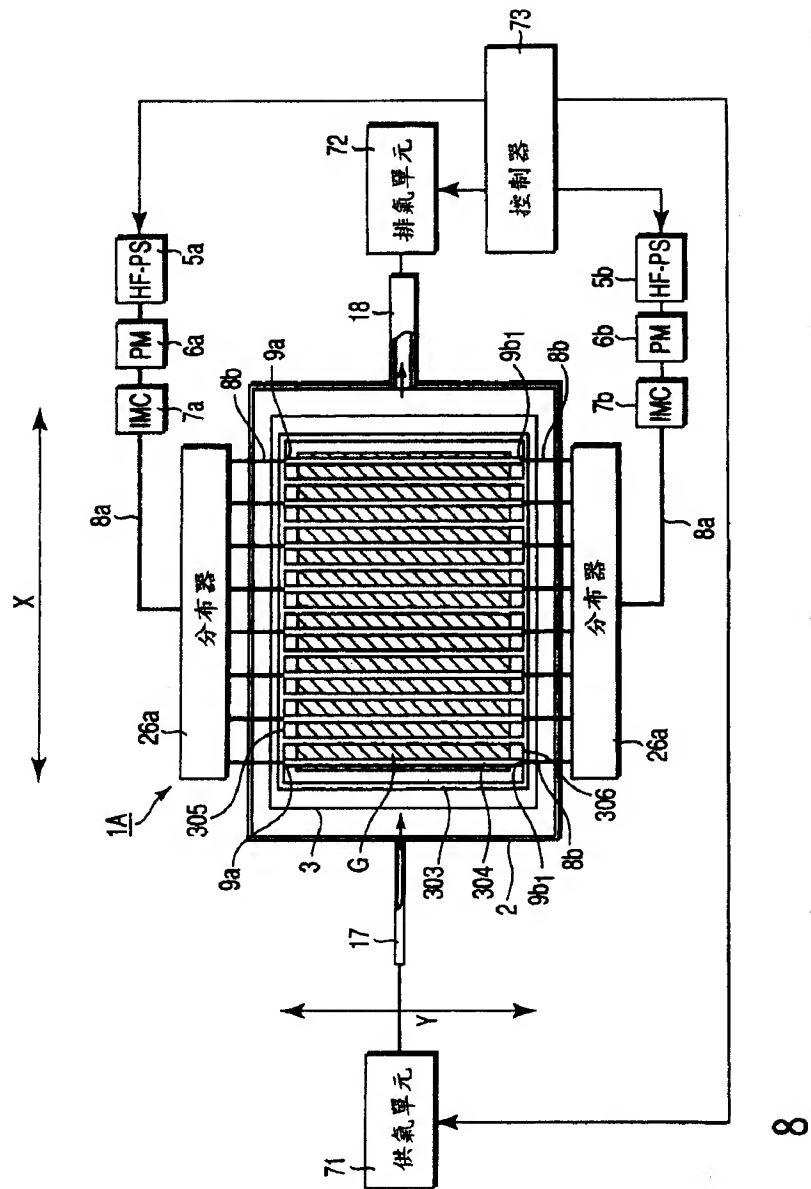


圖 8

(14)

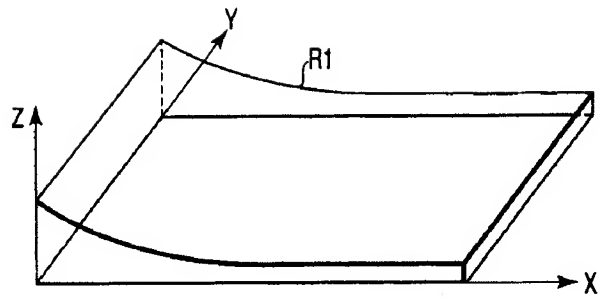


圖 10A

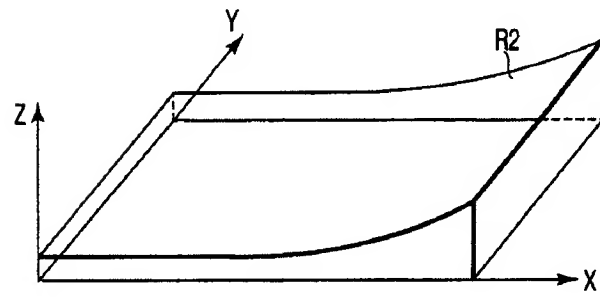


圖 10B

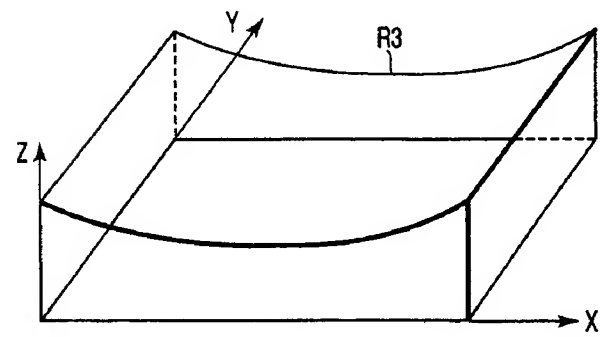


圖 10C

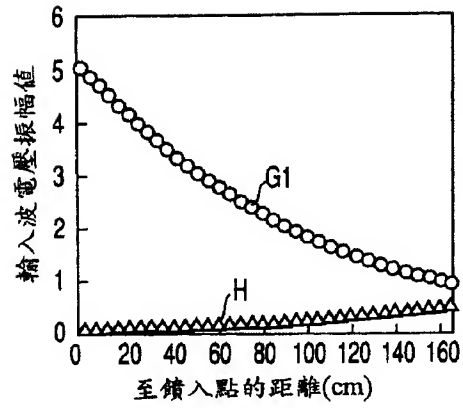


圖 11A

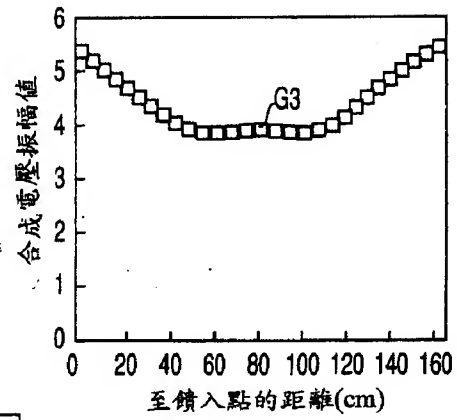


圖 11C

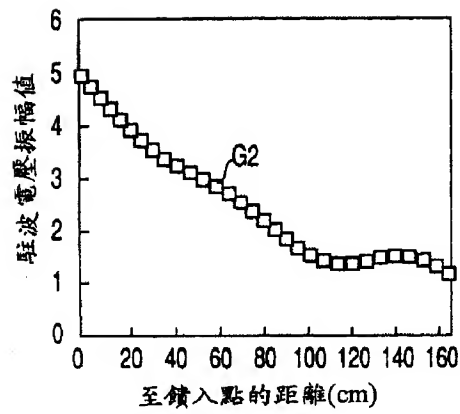


圖 11B

(16)

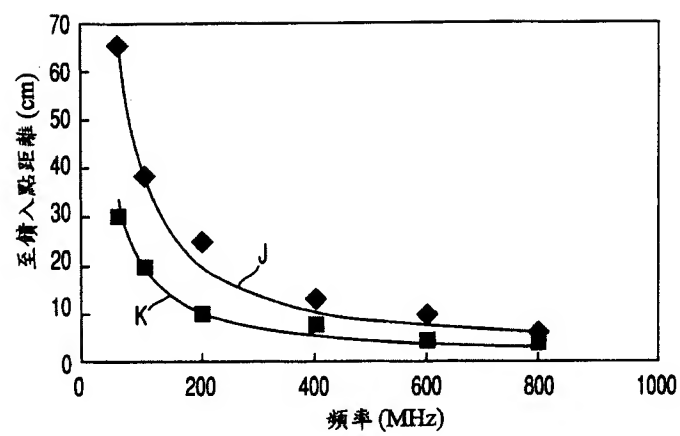


圖 12

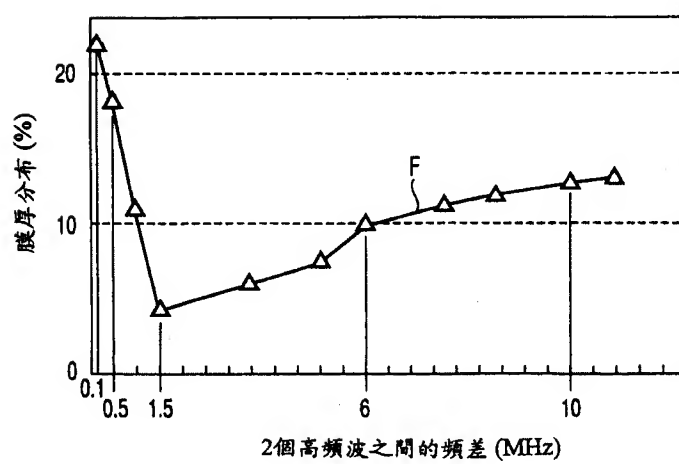


圖 13

(17)

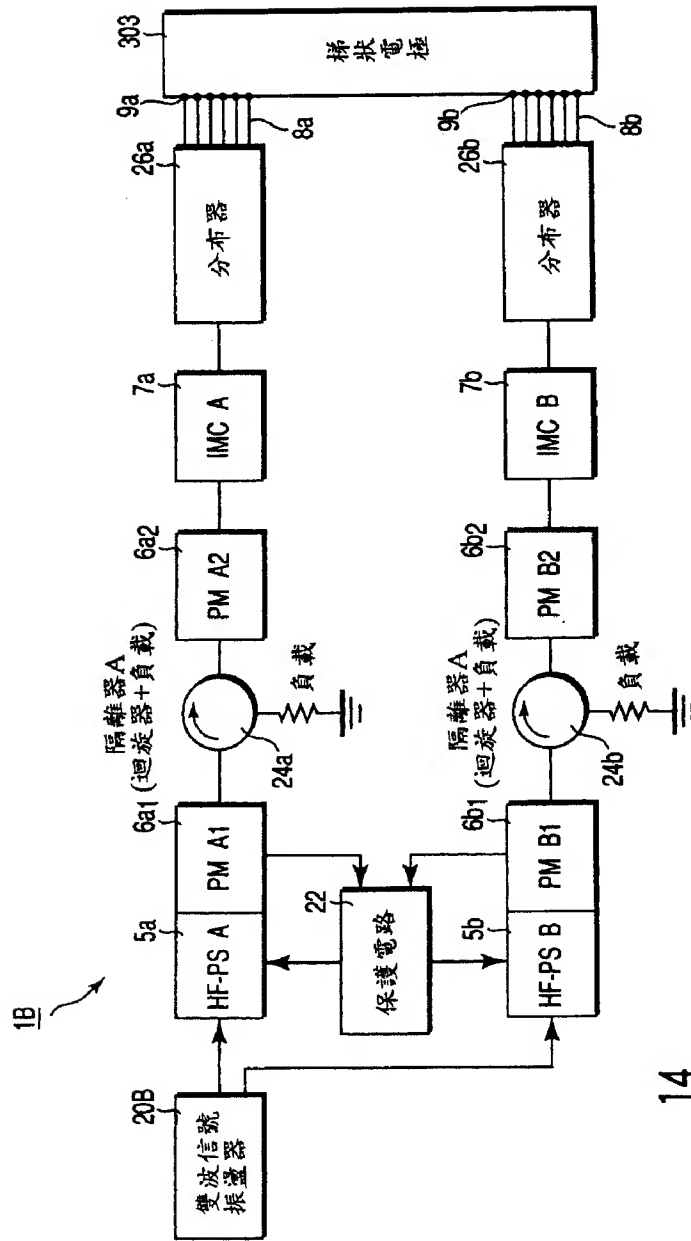


圖 14

(18)

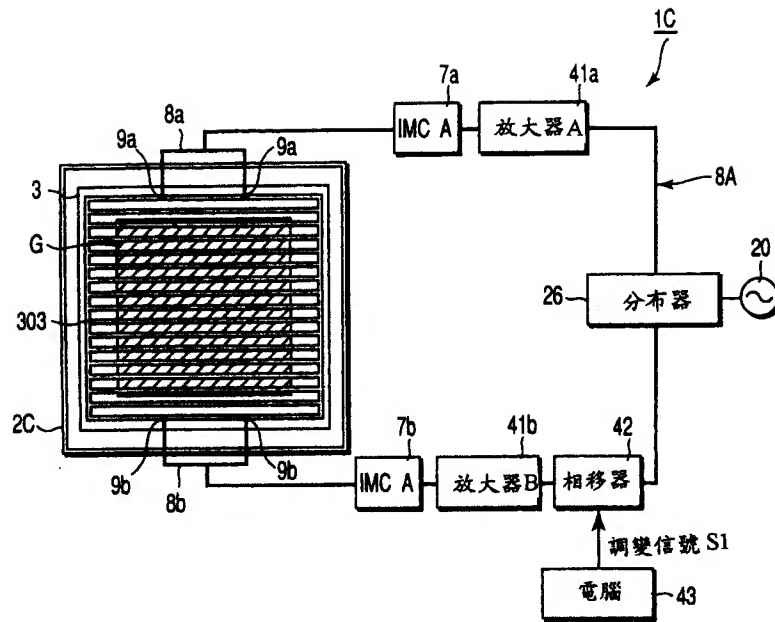


圖 15

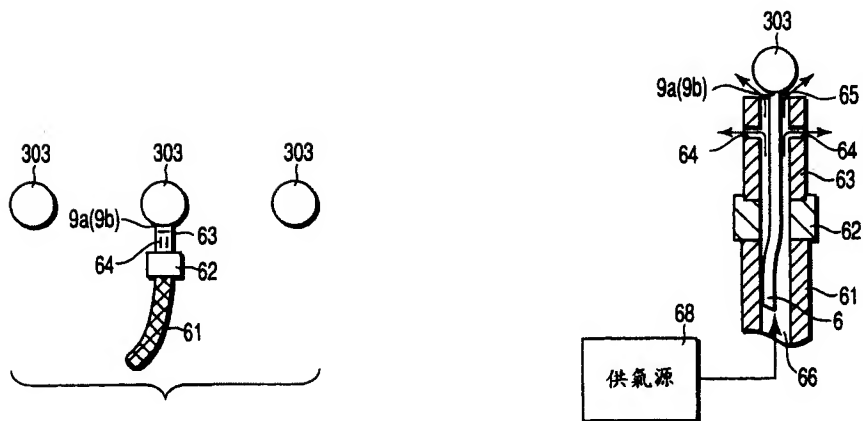


圖 16

圖 17

(19)

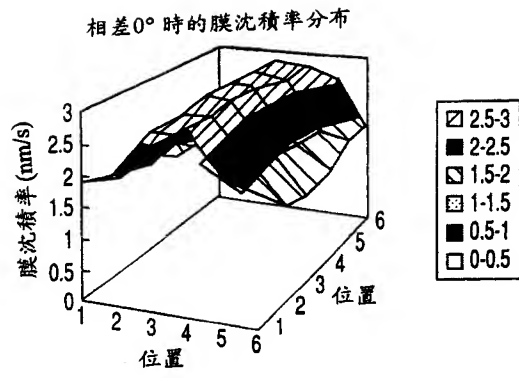


圖 18

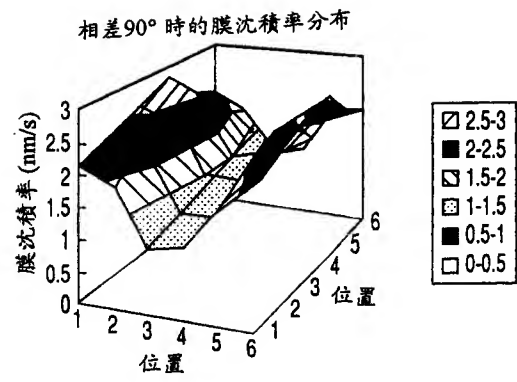


圖 19

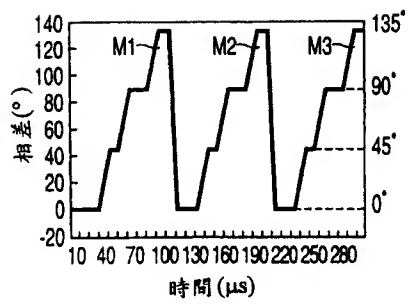


圖 20

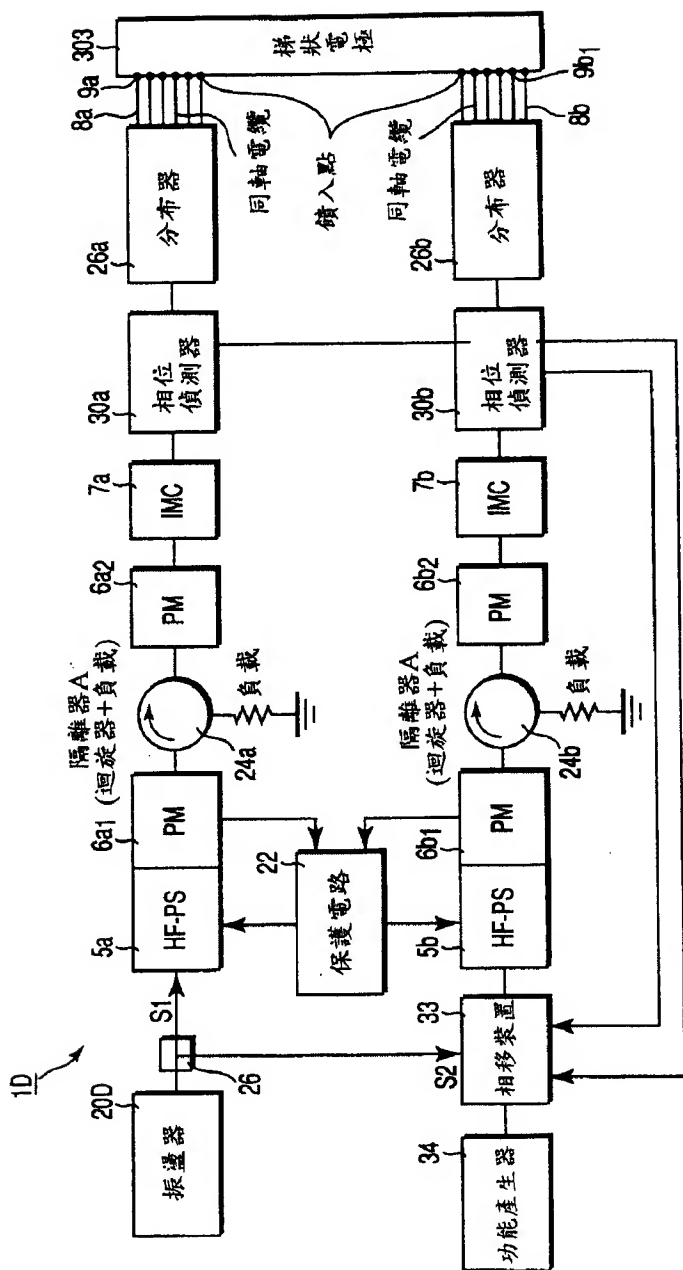


圖 21

(21)

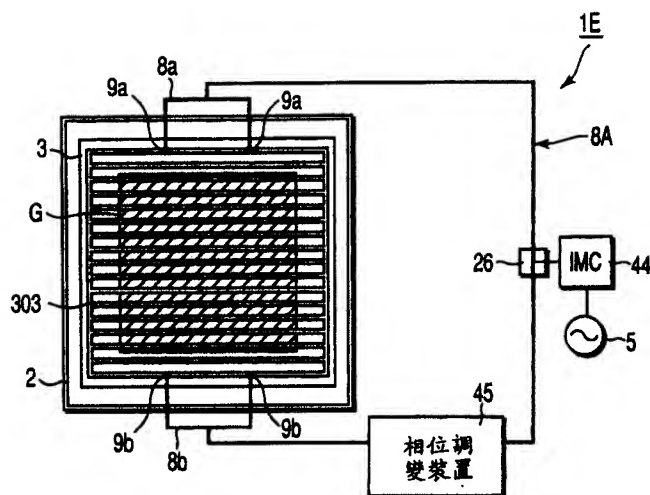


圖 22

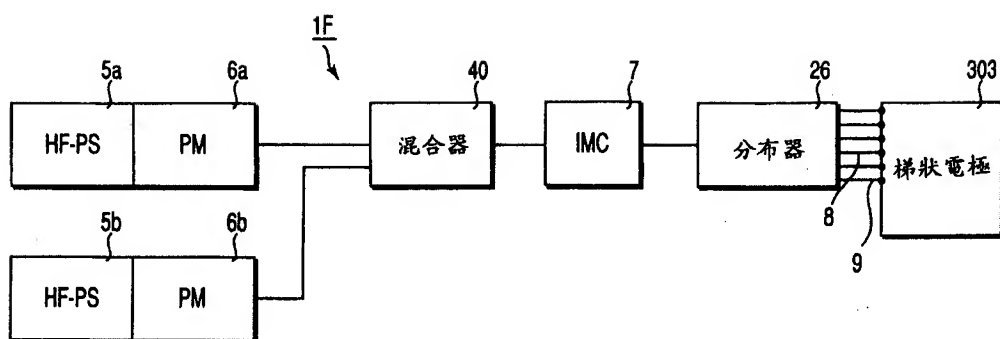


圖 23

(22)

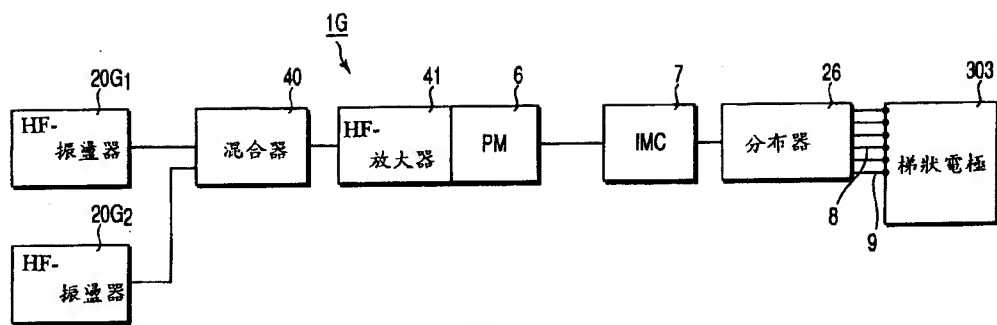


圖 24

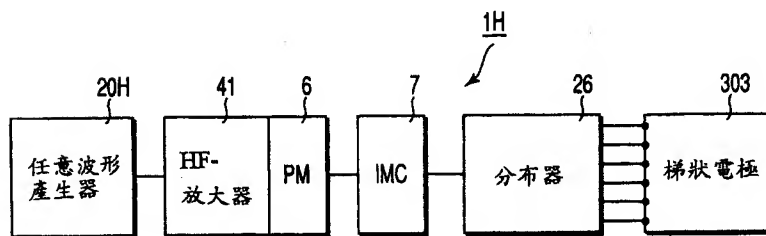


圖 25

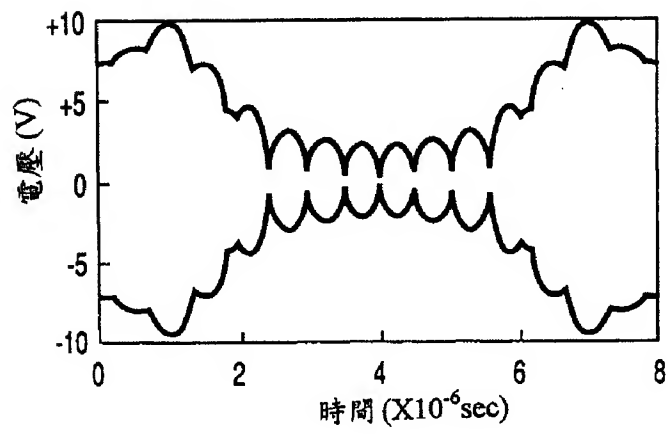
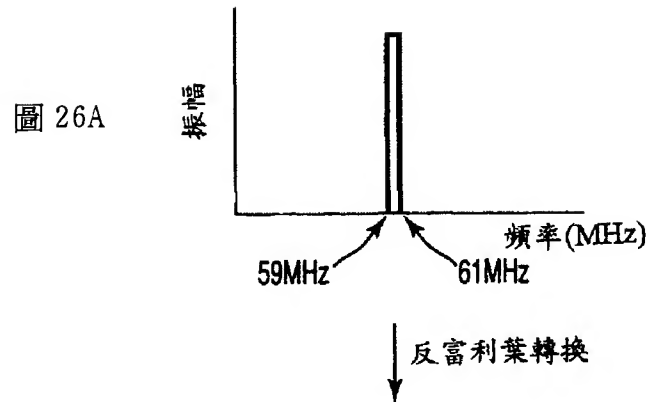


圖 26B

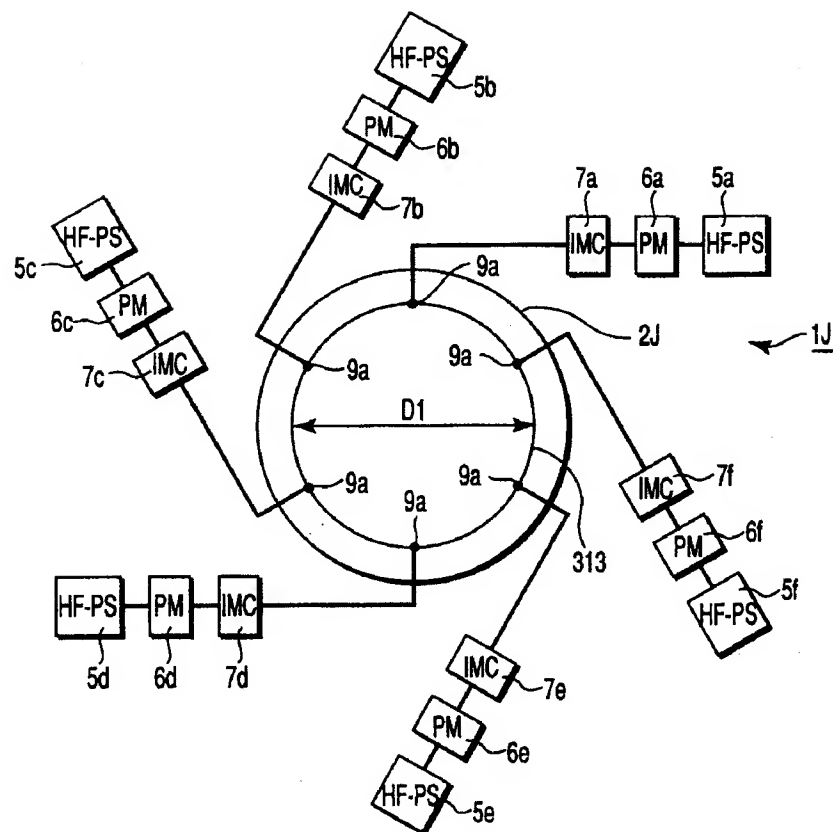


圖 27

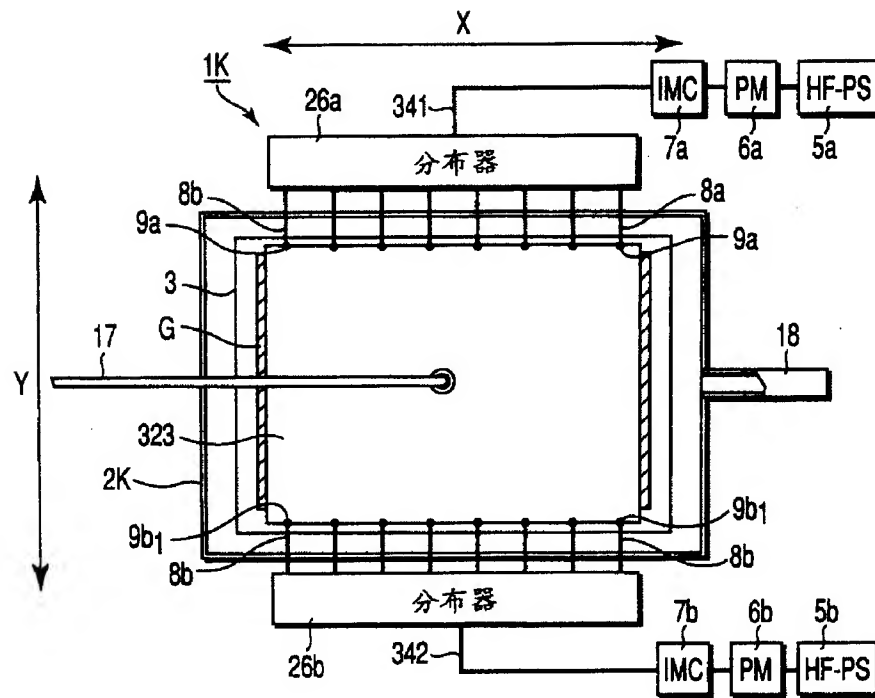


圖 28



(27)

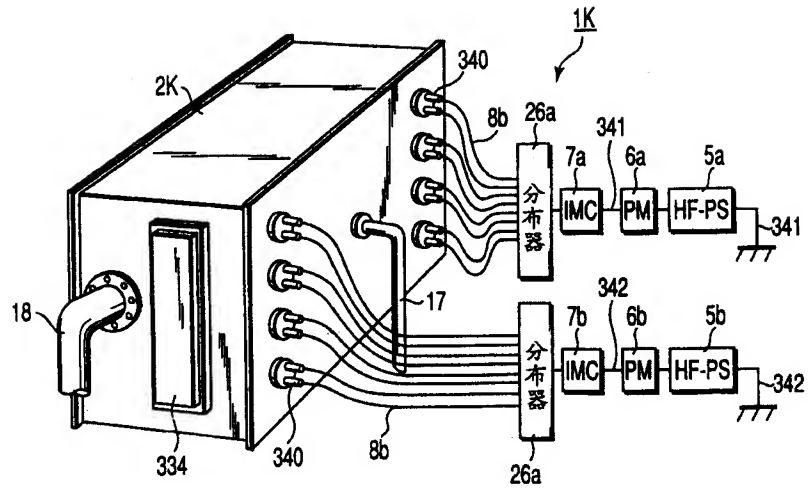


圖 30

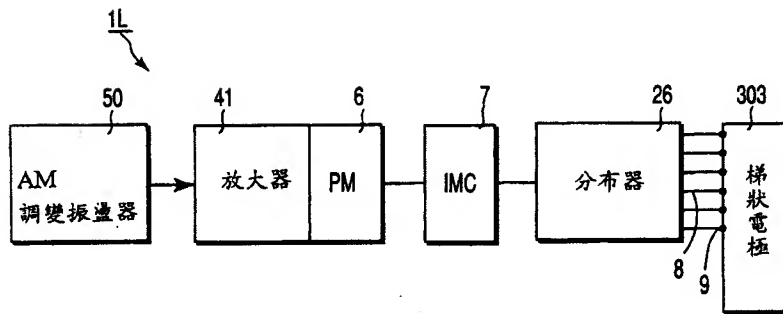


圖 31

(28)

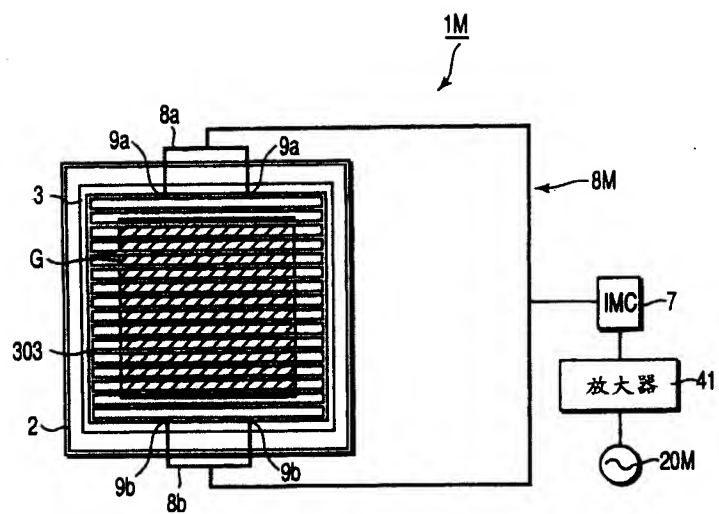


圖 32

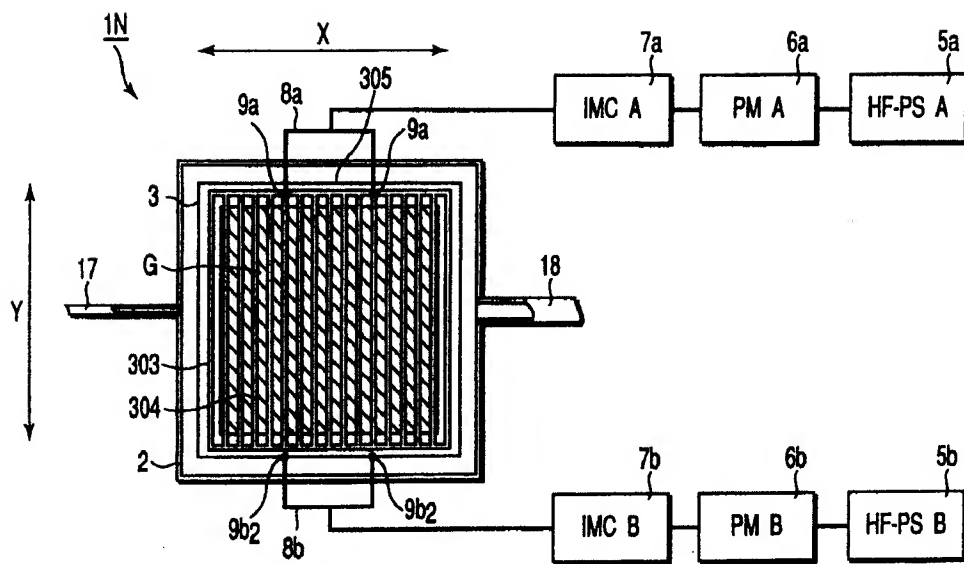


圖 33

(29)

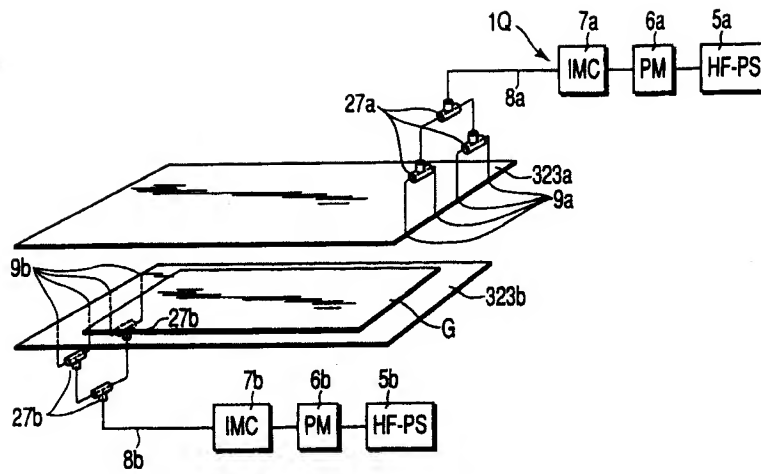


圖 34

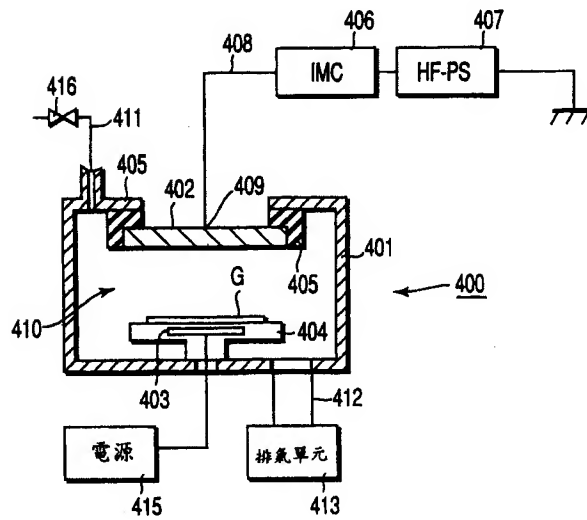


圖 35

(30)

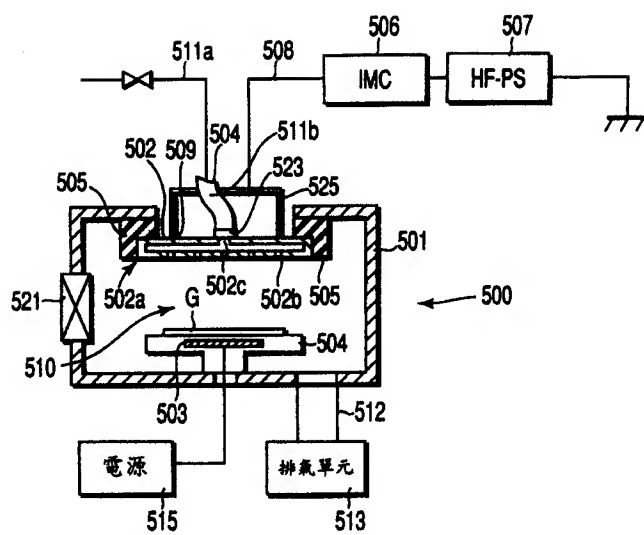


圖 36

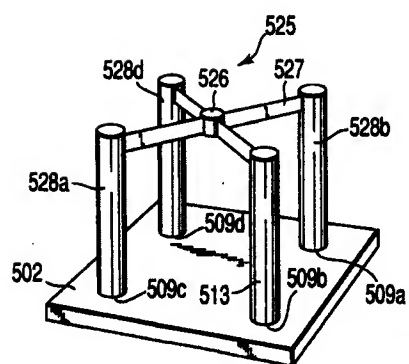


圖 37

(31)

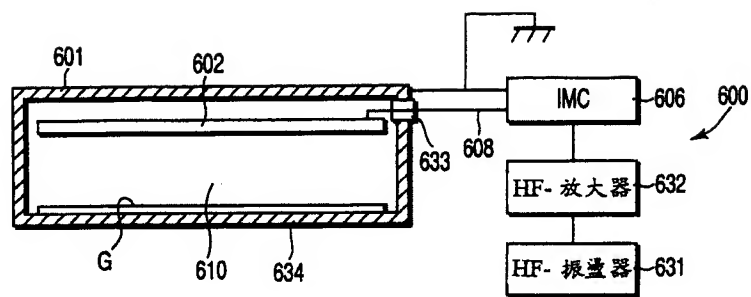


圖 38

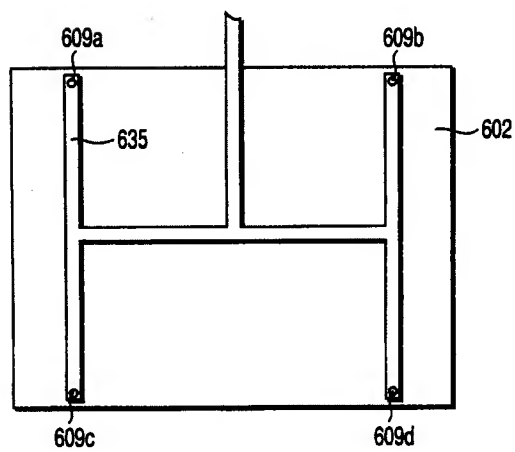


圖 39

